



RENATA TORRES GOMES DE SOUZA

**“ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA
DO USO DO PALHIÇO, PARA FINS DE COGERAÇÃO
DE ENERGIA, PELA ROTA COLHEITA INTEGRAL”**

**CAMPINAS
2012**



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RENATA TORRES GOMES DE SOUZA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DO USO
DO PALHIÇO, PARA FINS DE COGERAÇÃO DE ENERGIA,
PELA ROTA COLHEITA INTEGRAL”**

Orientador: Prof. Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação Engenharia Agrícola, na área de concentração de Construção Rural e Ambiência, da Faculdade de Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA RENATA TORRES GOMES DE SOUZA
ORIENTADA PELO PROF.DR.LUIS AUGUSTO BARBOSA CORTEZ

Assinatura do Orientador

Errata: onde se lê: “...na área de concentração de Construção Rural e Ambiência...”

Leia-se: “... na área de concentração de Construções Rurais e Ambiência...”

Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA

Matrícula 29041-2

Coordenador de Pós-Graduação

FEAGRI/UNICAMP

CAMPINAS
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

So89a Souza, Renata Torres Gomes de
Análise de viabilidade técnica-econômica do uso do
palhiço, para fins de cogeração de energia, pela rota de
colheita integral / Renata Torres Gomes de Souza. --
Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Luis Augusto Barbosa Cortez.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Energia elétrica e calor - Cogeração. 2. Biomassa
vegetal. 3. Energia da biomassa. 4. Palha - Utilização.
I. Cortez, Luis Augusto Barbosa , 1957-. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Technical and economic viability analysis of the
sugarcane trash by mechanized unburned cane harvest, to increase
cogeneration use

Palavras-chave em Inglês: Heat and electric power cogeneration, Plant biomass,
Biomass energy, Utilization of straw

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestra em Engenharia Agrícola

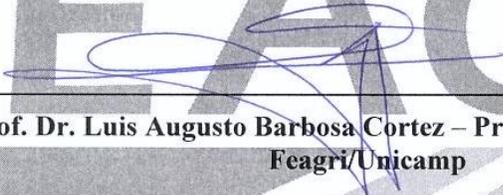
Banca examinadora: Caio Glauco Sanchez, Oscar Antonio Braunbeck

Data da defesa: 31-08-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Renata Torres Gomes de Souza**, aprovada pela Comissão Julgadora em 31 de agosto de 2012, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

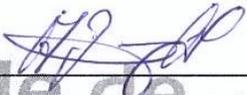
FEAGRI



Prof. Dr. Luis Augusto Barbosa Cortez – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Caio Glauco Sanchez
FEM/Unicamp



Prof. Dr. Oscar Antonio Braunbeck – Membro Titular
Feagri/Unicamp

Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha mãe, por ter sido tão rigorosa (eufemismo brando) ao longo de toda a minha vida estudantil, não aceitando nada menos que o meu melhor;

Ao meu pai, por todo amor, ajuda e dedicação ao longo dos anos de graduação e pós;

Ao meu irmão, por muitas vezes ter sido minha fonte de força mesmo sem saber;

A minha irmã por ter permitido que todos os desentendimentos ao longo da vida fossem deixados de lado, se dispondo a me ajudar em momentos difíceis da minha vida;

A minha avó, pelo exemplo de força e vontade de viver acima de tudo;

A minha segunda família, tio Márcio, tia Márcia, Rafael e Raissa pelo amor e apoio;

A Dani, mais que amiga para todas as horas, pelo auxílio inclusive técnico;

Ao Giovanni, James e Pedro pelos auxílios na entrega da dissertação;

Ao grande amigo Tulião, pelas incontáveis vezes que me ajudou desde a iniciação científica até a entrega desta dissertação, sempre me incentivando a continuar;

A Dedini Industrias de Base por ter iniciado meu conhecimento em palhiço, representada pela figura sempre tranquila do Fernando Boscariol, além das ajudas de Paulo Mantelatto, João Rafael e Rogério;

A Usina Cerradinho por ter me dado uma bagagem prática indescritível;

Ao prof. Dr. Cortez por ter sido tão compreensivo na minha divisão entre mestrado e trabalho, sendo peça fundamental para que eu conseguisse cumprir esta etapa;

E a todos que de alguma forma fizeram parte desta entrega (este trabalho foi escrito a muitas mãos, espero não ter me esquecido de ninguém).

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
NOMECLATURA	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – HIPÓTESE	2
2 – OBJETIVOS.....	3
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 – CONTEXTO GERAL DO PALHIÇO COMO FONTE DE ENERGIA.....	4
3.2 – ROTAS TECNOLÓGICAS DE TERMOCONVERSÃO DO PALHIÇO	8
3.2.1 – PIRÓLISE, TORREFAÇÃO, GASEIFICAÇÃO E LIQUEFAÇÃO	8
3.2.2 – COMBUSTÃO	9
3.3 – ROTAS DE RECOLHIMENTO DE PALHIÇO	16
3.3.1 – PICADO A GRANEL.....	17
3.3.2 – ADENSAMENTO DE BAIXA PRESSÃO E ENFARDAMENTO.....	18
3.3.3 – VIA COLHEITA INTEGRAL.....	19
3.4 – RECEBIMENTO DE PALHIÇO NA USINA VIA COLHEITA INTEGRAL	21
3.5 – ANÁLISE DE INVESTIMENTOS.....	24
3.5.1 – CONTEXTO GERAL DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	24
3.5.2 – MÉTODOS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTO	26
3.5.3 – ANÁLISE DE INVESTIMENTO APÓS O IR.....	28
4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 – LIMITE TÉCNICO DE RECEBIMENTO DE PALHIÇO	30
4.1.1 – MATERIAIS	30
4.1.2 – MÉTODOS	30
4.2 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: COLHEITA INTEGRAL	
TRADICIONAL	35
4.2.1 – MATERIAIS	35
4.2.2 – MÉTODOS	35
4.2.2.1 – INVESTIMENTO INDUSTRIAL.....	36
4.2.2.2 – INVESTIMENTO AGRÍCOLA	50
4.2.2.3 – RECEITA BRUTA.....	52
4.2.2.3 – CUSTOS.....	53
4.2.2.4 – IMPOSTOS	55
4.2.2.5 – CAPITAL DE GIRO E DEPRECIAÇÃO	56
4.2.2.6 – ANÁLISE DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO.....	56
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1 – LIMITE TÉCNICO DE RECEBIMENTO DE PALHIÇO	59
5.2 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: COLHEITA INTEGRAL	
TRADICIONAL	70

5.2.1 – INVESTIMENTO INDUSTRIAL	70
5.2.2 – INVESTIMENTO AGRÍCOLA.....	71
5.2.3 – RECEITA BRUTA.....	76
5.2.4 – CUSTOS OPERACIONAIS (OPEX).....	82
5.2.5 – ANÁLISE DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	90
5.2.5.1 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: DISTÂNCIA LAVOURA-USINA.....	94
5.2.5.2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: PREÇO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA	95
6 – CONCLUSÕES	96
7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
7.1 – <i>NOVAS TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DE PALHIÇO PARA</i> <i>USINAS, VIA COLHEITA INTEGRAL</i>	98
7.2 – <i>NOVAS TECNOLOGIAS PARA COMPACTAÇÃO DA PALHA PARA</i> <i>APROVEITAMENTO FORA DA USINA</i>	99
8 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Prazo para a eliminação da queima da palha da cana no estado de São Paulo (adaptado de UNICA, 2007).....	5
Figura 2: Alternativas tecnológicas para geração de eletricidade a partir da biomassa.	9
Figura 3: Utilização da energia térmica e elétrica no setor sucroalcooleiro.	14
Figura 4: Evolução do preço da energia comercializada (R\$/MWh).....	15
Figura 5: Fluxograma das opções de recolhimento de palhão em estudo no Brasil.	17
Figura 6: Tambores posicionados dentro do transbordo e separação do material em classes.	21
Figura 7: Fluxograma da palha recebida na usina via colheita integral.....	22
Figura 8: Valor Futuro de uma série de desembolsos.....	25
Figura 9: Valor Presente de uma série de desembolsos.....	25
Figura 10: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada.	31
Figura 11: Mesa alimentadora e hillo – Usina Moema.....	32
Figura 12: Sistema de Limpeza – Usina Guaíra.	33
Figura 13: Sistema de Limpeza – Usina Pedro Afonso.....	33
Figura 14: Mesa alimentadora – Usina Cerradinho.....	36
Figura 15: Grelha da mesa alimentadora – Usina Cerradinho.....	37
Figura 16: Moega para captura de impurezas minerais retiradas pela grelha da mesa alimentadora – Usina Monteverde.....	37
Figura 17: Sistema de Limpeza – Usina Equipav.	38
Figura 18: Sistema de Limpeza – Usina Guaíra.....	38
Figura 19: Peneira para retirada de impurezas minerais contidas na palha – Usina Equipav.....	39
Figura 20: Picador de palha – Usina Cerradinho.....	39
Figura 21: Transportadores condutores de palha por todo processo.	40
Figura 22: Colmo + impurezas não separadas pelo sistema de limpeza.....	40
Figura 23: Moenda (sistema de extração).....	41
Figura 24: Bagaço após sistema de extração.....	41
Figura 25: Caldeira.....	42
Figura 26: Entrada das palha + bagaço na caldeira.	42
Figura 27: Sistema de Limpeza com ventiladores localizados abaixo do acionamento da mesa (fluxo de ar cruzando a cortina de biomassa).....	44
Figura 28: Sistema de Limpeza com ventiladores localizados abaixo da mesa alimentadora (fluxo de ar no contra-fluxo da biomassa).....	45
Figura 29: Layout com inserção da palha separada pelo sistema de limpeza via último terno de moenda.	49
Figura 30: Modelo – Resultados da análise de viabilidade econômica.....	57
Figura 31: Modelo – Análise de sensibilidade da viabilidade do projeto com relação ao preço de cogeração de energia.....	58
Figura 32: Modelo – Análise de sensibilidade da viabilidade do projeto com relação a distância entre lavoura - usina.....	58
Figura 33: Limite de recebimento da palha na usina respeitando o limite agrônômico.....	60
Figura 34: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada.	62
Figura 35: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada – cenários possíveis.....	69
Figura 36: Indicadores Econômicos para o Cenário 3 (5,26% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e sem o uso do picador.....	91
Figura 37: Indicadores Econômicos para o Cenário 3 (5,26% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e com o uso do picador.....	92
Figura 38: Indicadores Econômicos para o Cenário com 7% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e sem o uso do picador.....	93
Figura 39: Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos do Cenário 3 (5,26% de palha) variando a distância da lavoura a usina, considerando o projeto sem picador e o preço da cogeração de R\$140/MWh.....	94

Figura 40: Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos do Cenário 3 (5,26% de palha) variando o preço do MWh, considerando o projeto sem picador e a distância da lavoura a usina de 25 km 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Biomassa disponível no campo	7
Tabela 2: Poder calorífico dos constituintes do palhicho	12
Tabela 3: Poder calorífico do bagaço de cana-de-açúcar	13
Tabela 4: Dados de Hidrogênio, Umidade e PCI para cálculo de PCU em função da umidade	13
Tabela 5: Construção de um fluxo de caixa (LAPPOLIN, 2000).....	29
Tabela 6: Comparação entre os cenários	36
Tabela 7: Comparativo entre os sistemas de limpeza	47
Tabela 8: Composição e densidade da biomassa de entrada da usina variando em função da quantidade de palha existente em cada cenário	59
Tabela 9: Caracterização da biomassa existente no campo	59
Tabela 10: Manutenção de 65% do palhicho no campo convertido em t/ha.	61
Tabela 11: Relação entre palha contida na biomassa de entrada x palha disponível no campo	63
Tabela 12: Aumento da entrada de biomassa na usina para manter a massa de colmo constante	63
Tabela 13: Relação entre a vazão mássica de alimentação necessária, para um tempo de tombamento de 4 min, caixa de 90m ³ e um período fixo da safra de 200 dias úteis (com 24h).....	65
Tabela 14: Teste de capacidade de equipamento de extração suportar o adicional de palhicho que chega a usina e não é separado pelo sistema de limpeza, para 7% de entrada de palha.....	66
Tabela 15: Teste de capacidade de equipamento de extração suportar o adicional de palhicho que chega a usina e não é separado pelo sistema de limpeza, para qualquer % de entrada de palha.....	67
Tabela 16: Balanço de massa completo para capacidade da planta em condições normais de colheita mecanizada de 2.000.000 t biomassa / safra.....	68
Tabela 17: Investimento nos equipamentos do sistema de limpeza (sem picadores)	70
Tabela 18: Investimento total no sistema de limpeza (com picadores)	70
Tabela 19: Composição do investimento total no sistema de limpeza	71
Tabela 20: Investimento em rodotrem (para raio de 12 km)	72
Tabela 21: Investimento em rodotrem (variando o raio).....	73
Tabela 22: Investimento em transbordo	74
Tabela 23: Receita cogeração de energia.....	77
Tabela 24: Receita devido a melhor/piora da qualidade do caldo	80
Tabela 25: Receita adicional consolidada	81
Tabela 26: Custo operacional dos picadores: facas e contra-facas	82
Tabela 27: Custo operacional dos picadores: energia elétrica	83
Tabela 28: Custo operacional dos picadores: mão – de - obra	83
Tabela 29: Custo operacional dos picadores: consolidado	84
Tabela 30: Custo operacional industrial: sistema de limpeza sem picador.....	85
Tabela 31: Custo operacional industrial: Uso do sistema de cogeração de energia, mesa e hillo	86
Tabela 32: Custo operacional agrícola: Corte, Carregamento e Transporte	88
Tabela 33: Custo operacional agrícola para raio de 12km: CCT	89
Tabela 34: Custo operacional agrícola para raio de 12km: Manutenção, MDO, CCT	89
Tabela 35: Custos operacionais industrial e agrícola para raio de 12km.....	90

NOMECLATURA

BIOMASSA: Palhão + Colmo industrializável

CCT: Corte, Carregamento e Transporte

COFINS: Contribuição para o financiamento de seguridade social

COGEN: Associação Paulista de Cogeração de Energia

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

CS: Contribuição social

F: valor do capital em uma demanda futura (R\$)

PALHA: Folha seca + Folha verde, com impurezas minerais aderidas

PALHÃO: **Palha** + Ponteiro + Frações de colmo + Frações de raízes arrancadas, com impurezas minerais aderidas

HILLO: equipamento utilizado nas usinas para transbordar a biomassa nas mesas alimentadoras

IMPUREZAS LEVES SEPARADAS PELO SISTEMA DE LIMPEZA: **palha** e terra

ICMS: Imposto sobre circulação de mercadorias e serviço

IR: Imposto de Renda

Km: quilômetro

LIMITE TÉCNICO: máximo de palhão que a usina de açúcar e etanol pode receber e processar considerando 01 estação de limpeza a seco, 01 mesa alimentadora e 01 hillo

MATÉRIA ESTRANHA (IMPUREZAS): qualquer componente proveniente do canavial que não é industrializável

- **IMPUREZA VEGETAL:** matéria estranha de origem vegetal sendo constituída por **Palha** + Ponteiro + Frações de raízes arrancadas
- **IMPUREZA MINERAL:** matéria estranha de origem mineral sendo constituída por Terra e Pedras

MWh: mega Watt hora

PAYBACK: período necessário para se recuperar o investimento

P: valor do capital no presente, na data zero (R\$)

PCI: Poder Calorífico Inferior (kJ / kg)

PCS: Poder Calorífico Superior (kJ / kg)

PCU: Poder Calorífico Útil (kJ/ kg)

PIS: Programa de integração social

POL: porcentagem em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal. Esta medição é determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada

SOQUEIRA: após o corte, as raízes que sobram no campo recebem o nome de soqueiras. Quando há necessidade de refazer o plantio da cana ou quando a colheita não se dá de forma eficiente, as soqueiras são eliminadas

TIR: taxa interna de retorno

TMAR: taxa mínima de retorno

UNICA: União da Indústria de Cana-de-Açúcar

VAE: valor anual equivalente

VPL: valor presente líquido

W/W: weight / weight = base mássica

RESUMO

Atualmente uma série de países está promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas, sendo a cana-de-açúcar apontada como uma das principais fontes para o estado de São Paulo. Contribuindo para aumentar ainda mais o potencial da cana, o palhiço vem despertando interesse dos usineiros, uma vez que possui um importante equivalente energético quando comparado ao barril de petróleo. O reaproveitamento do palhiço dependerá em linhas gerais da rota tecnológica utilizada para converter a energia bruta em energia disponível (cogeração de energia é a rota mais difundida nas usinas); da viabilidade técnica do seu recolhimento (colheita integral é considerada de mais curto prazo); da viabilidade técnica do seu processamento; da viabilidade econômica considerando todos os custos, investimentos necessários e receitas provenientes da conversão do palhiço em energia. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo contribuir com a criação de um modelo que permita determinar qual é o limite técnico para o processamento do palhiço adicional recolhido via colheita integral, respeitando o limite agrônômico e considerando uma usina que queira melhor utilizar a sua capacidade instalada na recepção (01 hillo e 01 mesa alimentadora) e decida investir em uma estação de limpeza à seco. Além disso, o modelo se propôs a avaliar a rentabilidade do investimento necessário para recuperação e processamento do palhiço adicional para fins de cogeração de energia, considerando todos os investimentos agrícolas e industriais para a rota via colheita integral, tendo como base de comparação o cenário atual de recebimento de palhiço por esta mesma rota.

Os resultados apresentados para os dados simulados demonstram que a máxima quantidade de palha que uma Usina preparada com 01 hillo + 01 mesa alimentadora e 01 sistema de limpeza à seco pode receber é 7% (base mássica) do total da biomassa de entrada. Já respeitando o limite agrônômico, o máximo de palha contida na biomassa de entrada da usina é de 5,26%. Portanto o cenário limite considerado de quantidade de palha contida na biomassa de entrada foi de 5,26%.

A análise econômica indicou que o cenário de 5,26% foi o de maior rentabilidade (TIR, VPL, PAYBACK) quando comparado ao cenário com quantidade atual de recebimento de palha (1,56% base mássica) e ao cenário intermediário (3% base mássica), sendo que a existência do picador de palha inviabiliza qualquer cenário.

Considerando uma distância lavoura usina de 25 km, nenhum cenário é considerado viável economicamente para uma remuneração de cogeração de energia inferior a R\$150/MWh.

Vale ressaltar que os dados de entrada variam com a realidade de cada usina e que o modelo computacional está preparado para receber quaisquer dados.

Palavras chave: recolhimento de palhiço via colheita integral, estação de limpeza à seco, cogeração de energia.

ABSTRACT

Currently a lot of countries are promoting actions so that the renewable energy alternatives have significant participation in its energy mix, and the sugarcane is considered the main available source for Sao Paulo state. Contributing to further increase the sugarcane potential, sugarcane trash (tops, green and dry leaves) has become attractive for the owners, since it has as important energy equivalent when compared to the American oil barrel. The sugarcane trash reuse depends on the technological route used to convert the raw energy in available energy (cogeneration is the most widespread in mills), the technical feasibility of its recover (collected by mechanized unburned cane harvest is considered shorter-term) the technical feasibility of its processing; economic viability considering all costs, required investments and income from the conversion of sugarcane trash into energy.

The objective of this work was to create one model to determine what is the technical limit to the additional processing of sugarcane trash collected by mechanized unburned cane harvest, respecting the agronomic limit, considering mill that wants to better use its capacity in reception (01 hillo and 01 cane feed table) and decides to invest in a dry factory trash separation plant. Furthermore, the model proposed to evaluate the investment profitability needed for recovery and processing of additional sugarcane trash for cogeneration of energy, considering all agricultural and industrial investments for collecting system of the sugarcane trash by mechanized unburned cane harvest, based on comparison of the current scenario receipt of sugarcane trash by the same route.

The results presented for the simulated data show that the maximum straw amount which a plant prepared with 01 hillo, 01 cane feed table and 01 and the dry factory trash separations plant can receive is 7% (w / w) of total biomass input. Already within the limit agronomic maximum straw contained in biomass input of the plant is 5.26%. Therefore the scene considered to limit the amount of straw input contained in biomass was 5.26%.

The economic analysis indicated that the scenario of 5.26% was the highest return (IRR, VPL, PAYBACK) when compared to the scenario with the current number of receiving straw (1.56% w / w) and the intermediate scenario (3 % w / w), and the existence of the straw chopper prevents any scenario.

Considering a crop plant 25 km away, no scenario is economically viable for a considerable fee cogeneration power less than \$ 150 / MWh. Note that the input data vary with the reality of each plant and that the computational model is ready to receive any data.

Keywords: collecting system of the sugarcane trash by mechanized unburned cane harvest, dry factory trash separation plant, cogeneration.

1 – INTRODUÇÃO

Atualmente, uma série de países está promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas. A motivação para essa mudança de postura é a necessidade de redução do uso de derivados do petróleo e, conseqüentemente, a dependência energética desses países em relação aos países exportadores deste produto. Além disso, a redução no consumo dos derivados do petróleo também diminui a emissão de gases promotores do efeito estufa. (CORTEZ, et al., 2008).

Assim, a produção de energia da biomassa no Brasil se mostra como uma alternativa atrativa para aumento da oferta energética de forma renovável.

No estado de SP, devido a grande importância econômica do setor sucroalcooleiro, a cana-de-açúcar aparece como uma fonte de biomassa de grande utilização. Porém em grande maioria das vezes, a palha da cana, apesar de possuir grande potencial energético, não é aproveitada pelo setor sendo deixada no campo ou queimada na operação que antecede a colheita.

Em 2007, contribuindo ainda mais para o aumento desse potencial, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) antecipou o prazo dado pelas leis federal e estadual (2.661/98; 11.241/02) para o fim das queimadas nos cavanviais. O documento, chamado de “Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético”, prevê o cumprimento de metas mais curtas: 2014 (para área mecanizáveis) e 2017 (para áreas não mecanizáveis). (UNICA, 2009).

Portanto, pode-se dizer que em curto intervalo de tempo haverá uma grande disponibilidade de palha da cana-de-açúcar e duas atitudes, não necessariamente excludentes, poderão ser tomadas: deixar a palha da cana-de-açúcar no campo ou reaproveitá-la como matéria-prima em processos de geração de energia renovável. (GÓMEZ, et al., 2010).

O reaproveitamento do palhiço em larga escala dependerá em linhas gerais da rota tecnológica utilizada para converter a energia bruta em energia disponível; da viabilidade técnica do seu recolhimento; da viabilidade técnica do seu processamento; da viabilidade econômica considerando todos os custos, investimentos necessários e receitas provenientes da conversão do palhiço em energia.

Com relação à rota tecnológica de conversão do palhiço em energia, pode-se dizer que a combustão é a de mais curto prazo já que usinas sucroalcooleiras possuem investimentos consideráveis no setor de cogeração de energia, e o palhiço poderia ser utilizado nas caldeiras já existentes. (TAVARES, 2009 e WALTER, 2010).

Já com relação à rota tecnológica para seu recolhimento, a colheita integral possui grande potencial de utilização já que grande parte do investimento necessário para a mesma ocorrer seria compartilhado entre palhiço e a cana. (MICHELAZZO, 2005).

Este trabalho pretende propor um modelo para avaliar qual é o limite técnico (máximo de palhiço que a usina de açúcar e etanol pode receber e processar considerando 01 estação de limpeza a seco, 01 mesa alimentadora e 01 hillo) para o processamento palhiço adicional recolhido via colheita integral (respeitando o limite agrônômico) e considerando uma usina que queira melhor utilizar a sua capacidade instalada na recepção (01 hillo e 01 mesa alimentadora). Além disso, o modelo analisará economicamente o investimento (agrícola e industrial) necessário para o recolhimento e processamento do palhiço adicional de uma usina que queira aumentar a sua receita de cogeração de energia.

1.1 – HIPÓTESE

A hipótese deste trabalho é que a rota colheita integral com os equipamentos tradicionais possui um limite onde é viável técnico e economicamente o recolhimento de palhiço para fins de cogeração de energia, respeitando o limite agrônômico e a rentabilidade do projeto.

Para provar esta hipótese foram realizadas simulações computacionais para cenários com diferentes quantidades de palhiço, avaliando seus impactos na usina, seus investimentos, receitas, custos e os comparando através de indicadores econômicos.

2 – OBJETIVOS

Objetivo Geral

Contribuir com a criação de um modelo que permita determinar qual é o limite técnico para o processamento do palhiço adicional recolhido via colheita integral, respeitando o limite agrônômico e considerando uma usina que queira melhor utilizar a sua capacidade instalada na recepção (01 hillo e 01 mesa alimentadora) e decida investir em uma estação de limpeza à seco. Além disso, o modelo avaliará a rentabilidade do investimento necessário para recuperação e processamento do palhiço adicional para fins de cogeração de energia, considerando todos os investimentos agrícolas e industriais para a rota via colheita integral, tendo como base de comparação o cenário atual de recebimento de palhiço por esta mesma rota.

Objetivos Específicos

- Obter indicativos do limite técnico de entrada de palhiço na usina, considerando o investimento em um sistema de limpeza à seco de palhiço e os equipamentos tradicionais existentes em uma usina de açúcar e etanol;
- Obter indicativos da máxima distância entre lavoura-usina para que o recolhimento de palhiço via colheita integral seja economicamente viável;
- Analisar a influência da distância entre lavoura-usina na rentabilidade de se recolher palhiço via colheita integral;
- Analisar a influência do preço pago pela energia na rentabilidade de se recolher palhiço via colheita integral.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – CONTEXTO GERAL DO PALHIÇO COMO FONTE DE ENERGIA

É consenso dizer que o aumento da demanda de energia representa um forte indicador de melhoria de qualidade de vida.

Além disso, as questões ambientais também vem ganhando cada vez mais espaço nas discussões mundiais. Um exemplo de tentativa de transformação dessas discussões em ações foi a criação do protocolo de Kyoto onde foram propostas metas de redução de gases de efeito estufa aos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento.

Nesse contexto, uma série de países está promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas. A motivação para essa mudança de postura é a necessidade de redução do uso de derivados do petróleo e, conseqüentemente, a dependência energética desses países em relação aos países exportadores desse insumo. Além disso, a redução no consumo dos derivados do petróleo também diminui a emissão de gases promotores do efeito estufa.

Assim, a produção de energia da biomassa no Brasil se mostra como uma alternativa atrativa para aumento da oferta energética de forma renovável.

Biomassa é uma fonte de energia resultante do armazenamento de energia solar nas plantas. Esta matéria-prima pode ser obtida de vegetais não lenhosos, de vegetais lenhosos (madeiras), de resíduos orgânicos (agrícolas, urbanos e industriais) além de biofluidos (óleos vegetais). (CORTEZ, et al., 2008).

No estado de SP, devido a grande importância econômica do setor sucroalcooleiro, a cana-de-açúcar aparece como uma fonte de biomassa de grande utilização.

Com relação ao cultivo de cana-de-açúcar historicamente, desde que o açúcar e o álcool passaram a ser produzidos em grande escala no Brasil, os produtores encontraram na queima prévia dos canaviais uma solução para aumentar o rendimento do corte manual da matéria-prima, visando unicamente o aproveitamento do colmo da cana-de-açúcar. (GÓMEZ, et al., 2010).

No entanto, esta realidade vem se modificando como consequência da intervenção de órgãos públicos sancionando leis que visem o controle ou a extinção definitiva das

queimadas, ou mesmo através da intervenção de associações representativas do setor. (GÓMEZ, et al., 2010).

No âmbito federal, a queima da cana-de-açúcar é regulada pelo decreto nº 2.661/98, onde é estabelecido o fim progressivo da prática da queima controlada considerando exclusivamente áreas passíveis de mecanização. Já no estado de SP existe a lei nº 11.241/02 que é de caráter mais restritivo que a lei federal já que estabelece o fim progressivo da queima da cana-de-açúcar em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis, com prazo para extinção em 2021 e 2031, respectivamente.

Ainda neste contexto, o setor sucroalcooleiro paulista deu um importante passo em direção ao fim da queima da cana-de-açúcar celebrando, em Junho de 2007, um protocolo de cooperação entre o Governo do Estado de São Paulo, a Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), onde se anteciparam os prazos para o fim da queimada anteriormente fixados pela lei estadual (Figura 1).

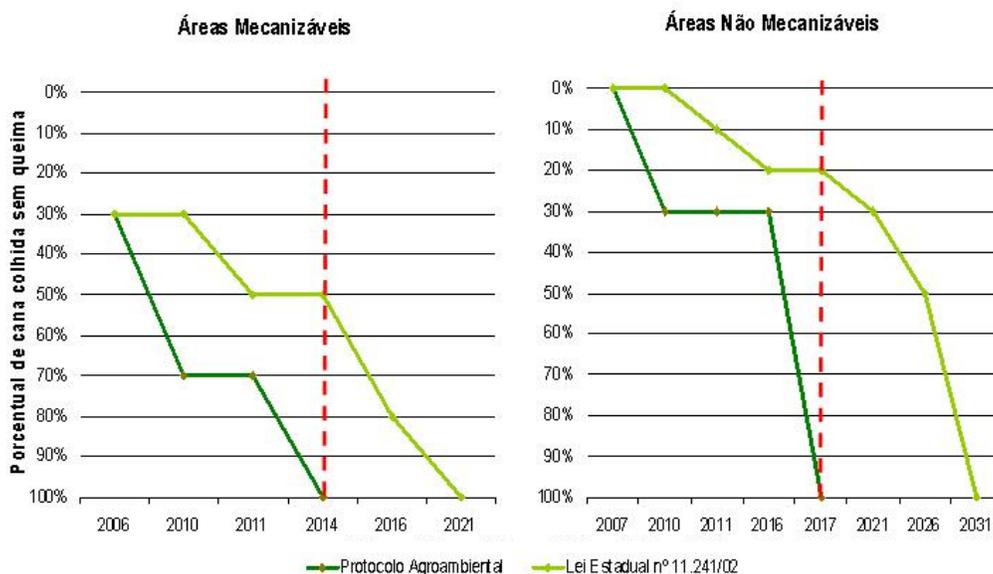


Figura 1: Prazo para a eliminação da queima da palha da cana no estado de São Paulo (adaptado de UNICA, 2007).

Nota: Áreas mecanizáveis possuem declividade menor que 12%.

Vale lembrar que o estado de São Paulo possui grande importância no setor sucroalcooleiro nacional haja vista na safra 2010/2011, SP possuía mais de 50% da área de

cana plantada no Brasil, enquanto que o segundo colocado, o estado de Minas Gerais, produziu em cerca de 8,5% da área total nacional. (CONAB, 2010).

Portanto, pode-se dizer que em curto intervalo de tempo haverá uma grande disponibilidade de palha da cana-de-açúcar passível de utilização.

A palha é um dos constituintes do palhiço, sendo que alguns autores a consideram somente como folha seca e grande parte do mercado como a somatória de folha seca com folha verde. Segundo RIPOLI et al. (2009), o palhiço é o material remanescente sobre a superfície do talhão após a colheita, sendo constituído de folhas verdes, folha seca, ponteiros, frações de colmo (industrializáveis ou não), frações de raízes e partículas de terra a eles aderida. Material este que começa a ser utilizado na cogeração de energia elétrica em usinas de açúcar e etanol, conjuntamente com o bagaço.

Para RIPOLI (2001), esta matéria-prima desperta o interesse dos canavieiros, uma vez que o equivalente energético do palhiço gira em torno de 1,2 barris de petróleo (158,8 litros) por tonelada de material.

Diversos autores publicaram dados com intuito de quantificar o palhiço existente no canavial (Tabela 1).

Tabela 1: Biomassa disponível no campo

Variedade	RIPOLI (1994) citado por Ripoli (2009) SP711406	RIPOLI (1994) citado por Ripoli (2009) SP716163	COPERA-TIVA AL (1993) citado por Ripoli (2009) Média	LEBRE et.al (SEM DATA) Média	RIPOLI (1990) SP701284	RIPOLI (1990) SP706163	RIPOLI (1990) SP701143	RIPOLI (1990) MÉDIA
Matéria vegetal (base úmida)	155,5 t/ha	128,7 t/ha						
Colmo (base úmida)	122,2 t/ha	102,3 t/ha						
Palhiço (base úmida)	33,3 t/ha	26,4 t/ha						
Índice de Palhiço*: Palhiço (base úmida) / colmo								
	27,3%	25,8%	17,4%	20,8%	17%	31%	25%	24,33%
Folhas secas (base úmida) / palhiço (base úmida)					38,46%	31,71%	35,26%	35,14%
Folhas verdes (base úmida) / palhiço (base úmida)					33,91%	37,12%	40,36%	37,13%
Ponteiros (base úmida) / palhiço (base úmida)					27,63%	31,17%	24,38%	27,73%

RIPOLI (2001) definiu o índice de palhiço como a relação mássica (palhiço / colmo industrializáveis) no campo.

Esta variabilidade de dados já foi citada por SARTORI (2001), sendo decorrente da variedade plantada, idade da planta e condições edafoclimáticas.

RIPOLI (2001) estimou a origem da energia contida num hectare de cana-de-açúcar, sendo que 37% é oriunda do bagaço, 24% do etanol e 39% do palhiço. Este mesmo autor afirma ainda que existem algumas dificuldades para o aproveitamento do palhiço, como: baixa densidade *in natura* (25 kg m^{-3} , com 50 % de umidade), teor de terra (5 a 7%) e seu elevado teor de água (ponteiros = 77,60%; folhas verdes = 65,35% e folhas secas = 12,90%).

3.2 –ROTAS TECNOLÓGICAS DE TERMOCONVERSÃO DO PALHIÇO

3.2.1 – PIRÓLISE, TORREFAÇÃO, GASEIFICAÇÃO E LIQUEFAÇÃO

Diversas tecnologias podem ser empregadas na conversão da energia bruta do palhiço em energia disponível, tais como pirólise, torrefação, gaseificação, liquefação e combustão.

LUENGO et. al (2008) classifica a pirólise como um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas de 500°C a 800°C, na ausência de oxigênio, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão em pó), um extrato ácido e o bio-óleo. Os seus produtos podem ser utilizados como insumos para queima em suspensão (carvão em pó), substituição da lenha (compactação do carvão em pó); substituição do óleo diesel em caldeiras (bio-óleo); inseticida natural, adubo orgânico e fungicida (extrato ácido).

Já o processo de torrefação desenvolve-se entre 220°C e 300°C e tem como objetivo concentrar ainda mais a energia da biomassa em um produto sólido e obter altos rendimentos. Através deste processo são produzidos, por exemplo, briquetes torreficados. (LUENGO et. al, 2008).

A gaseificação consiste em um processo termoquímico onde se converte um insumo sólido ou líquido em um gás (gás de síntese ou syngas) com características basicamente combustíveis, através de sua oxidação parcial a temperaturas intermediárias acima das recomendadas no processo de pirólise rápida e abaixo das recomendadas nos processos de combustão. (LORA, et. al, 2008).

Já a liquefação converte termicamente a biomassa em um óleo com alto poder calorífico que pode ser utilizado como combustível. (GONÇALVES, et. al, 2008).

Em se tratando de combustão do palhço in natura, apesar de ser uma rota em que não se concentra o poder calorífico da biomassa, pode ser a considerada a de mais curto prazo já que usinas sucroalcooleiras possuem investimentos consideráveis no setor de cogeração de energia e o palhço poderia ser utilizado nas caldeiras já existentes. Além disso, a Associação Paulista de Cogeração de Energia (Cogen-SP) aposta no potencial de expansão da cogeração de energia relatando que o setor sucroalcooleiro deverá investir R\$ 45 bilhões até 2015 em projetos de cogeração o que fará que em 2020, a bioeletricidade gere 14.400 MW de energia, o que corresponde a mais de 10 vezes a quantidade de energia gerada atualmente no Brasil. (TAVARES, 2009).

A Figura 2 apresenta a transformação de três processos de conversão da biomassa em energia.

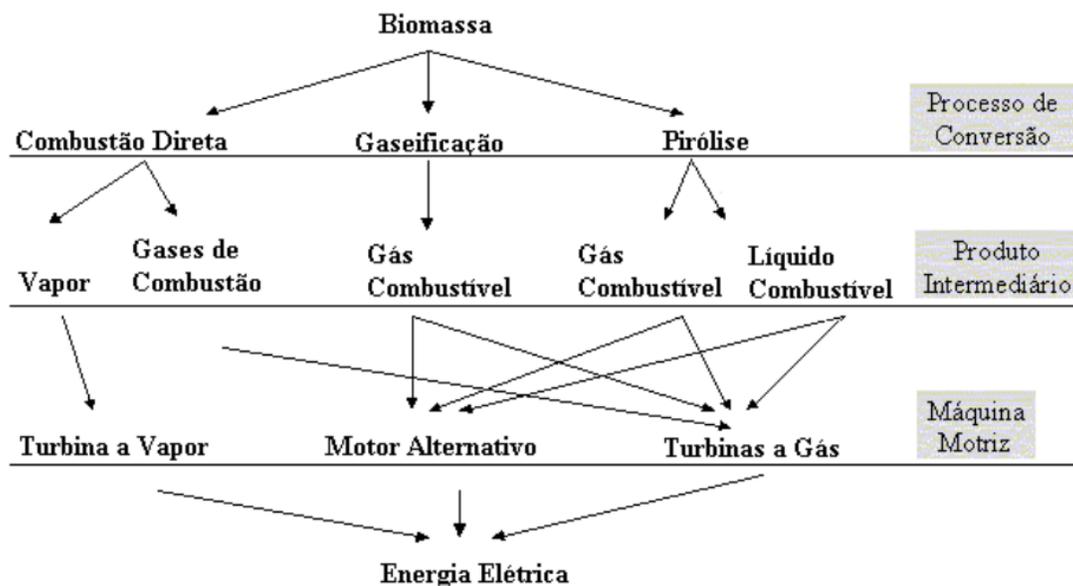


Figura 2: Alternativas tecnológicas para geração de eletricidade a partir da biomassa.

Fonte: WALTER E NOGUEIRA (1997).

3.2.2 – COMBUSTÃO

LORA et. al (2008) define a combustão como a reação de um dado combustível com o ar atmosférico produzindo gases de combustão, dentre eles CO₂, H₂O, SO₂, (produtos da oxidação completa) e CO, H₂, CH₄ (produtos da oxidação incompleta).

Um parâmetro característico de cada combustível imprescindível para se calcular a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão é o poder calorífico, podendo ser medido em kJ/kg de combustível no caso de combustíveis sólidos ou Kcal/Nm³ no caso de combustíveis gasosos.

ABNT NBR 8633 (1984) e CORTEZ et. al (2008) explicaram que o poder calorífico superior é obtido através de ensaios em bomba calorimétrica, medindo a variação de temperatura de uma determinada massa conhecida de água através do calor liberado pela combustão de uma quantidade conhecida de combustível, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas de modo que toda a água proveniente da combustão esteja no estado líquido.

$$PCS(kJ / kg) = \frac{m_a C_{va} \Delta T}{m_M}$$

Sendo:

m_a = massa de água que envolve a câmara de combustão (kg)

C_{va} = calor específico da água a volume constante (kJ/kg°C)

ΔT = variação de temperatura da água entre o início e o final da combustão (°C)

m_M = massa de material combustível na câmara de combustão (kg)

Como em instalações industriais a temperatura dos gases de saída da combustão é maior que a temperatura de condensação da água, o calor latente de condensação não é utilizado, dando origem ao Poder Calorífico Inferior (PCI).

OLIVEIRA (1982) explicitou em sua obra o PCI como sendo o calor liberado pelo combustível menos o calor de vaporização da água. Sabendo que são necessários 600 kcal para evaporar 1kg de água e que o peso dessa água formada durante a combustão é igual a nove vezes o peso do hidrogênio contido no combustível, tem-se:

$$PCI(kcal / kg_{B.S.}) = PCS - \frac{600 \times 9H}{100}$$

Sendo:

PCI (kcal/kg B.S) = poder calorífico inferior com base em peso seco

PCS (kcal/kg) = poder calorífico superior, obtido em bomba calorimétrica

H (%) = teor do elemento hidrogênio no material

9 = múltiplo do peso do hidrogênio contido no material, que fornece o peso da água formada durante a combustão

$kJ = 0,238846 Kcal$

RIPOLI (2009) fez a consideração que quando o objetivo é utilizar a biomassa para a produção de eletricidade, é necessário levar em conta o teor de umidade que o material será queimado, ou seja, seu Poder Calorífico Útil (PCU).

DOAT (1997) citado por RIPOLI (2009) publicou a seguinte expressão para PCU

$$PCU(kcal / kg_{B.U}) = PCI \times \left(\frac{100 - U}{100} \right) - 6H$$

Sendo:

PCU (kcal/kg B.U) = poder calorífico útil com base em peso úmido

PCI (kcal/kg) = poder calorífico inferior com base em peso seco

U = teor de umidade da biomassa com base em peso úmido

6 = fator de conversão referente à energia para evaporação da água de formação

A seguir são apresentados os dados de poder calorífico dos constituintes do palhicho e do bagaço.

Tabela 2: Poder calorífico dos constituintes do palhão

	Unida- de	RIPOLI (1990) SP 701284	RIPOLI (1990) SP 706163	RIPOLI (1990) SP 701143	RIPOLI (1991) SP 71406	RIPOLI (1991) NA 5679	MÉDIA
Índice de Palhão: Palhão (base úmida) / colmo							
	%	17,0%	31,0%	25,0%			24,33%
Folha seca (base úmida) / palhão (base úmida)							
		38,46%	31,71%	35,26%			35,14%
Folhas verdes (base úmida) / palhão (base úmida)							
	%	33,91%	37,12%	40,36%			37,13%
Ponteiros (base úmida) / palhão (base úmida)							
	%	27,63%	31,17%	24,38%			27,73%
UMIDADE no canavial, após o corte							
Folha seca							
	%	6,89%	8,75%	7,26%	12,94%	8,23%	8,81%
Folha verde							
	%	62,47%	63,94%	70,79%	70,02%	63,84%	66,21%
Ponteiro							
	%	74,50%	76,68%	79,46%	79,18%	74,13%	76,79%
Teor de Hidrogênio							
Folha seca							
	%	6,19%	6,24%	6,26%	6,10%	6,49%	6,26%
Folha verde							
	%	6,33%	6,33%	6,26%	6,46%	6,43%	6,36%
Ponteiro							
	%	6,20%	6,27%	6,23%	6,22%	6,32%	6,25%
PCS							
Folha seca							
	kcal/kg	4.283,60	4.295,70	4.276,40	4.508,80	4.330,80	4.339,06
Folha verde							
	kcal/kg	4.407,90	4.470,90	4.229,80	4.406,00	4.418,20	4.386,56
Ponteiro							
	kcal/kg	4.481,90	4.182,10	4.227,70	4.334,10	4.367,70	4.318,70
PCI							
Folha seca							
	kcal/kg	3.949,70	3.958,90	3.938,30	4.179,30	3.980,60	4.001,36
Folha verde							
	kcal/kg	4.407,90	4.132,50	3.952,80	4.057,90	4.268,60	4.075,62
Ponteiro							
	kcal/kg	4.147,10	3.843,60	3.891,40	3.998,30	4.026,50	3.981,38
PCU							
Folha seca							
	kcal/kg	3.640,40	3.573,50	3.615,70	3.602,30	3.613,10	3.609,00
Folha verde							
	kcal/kg	1.487,10	1.453,30	1.114,70	1.177,90	1.457,80	1.338,16
Ponteiro							
	kcal/kg	1.020,60	858,50	762,10	795,40	1.003,30	887,98

Fonte: (RIPOLI et. al, 1990 b e RIPOLI, 1991) adaptado.

Tabela 3: Poder calorífico do bagaço de cana-de-açúcar

Bagaço	Unidade	RIPOLI (1991) SP 71406	RIPOLI (1991) NA 5679	MÉDIA
UMIDADE	%	48,18%	51,56%	49,87%
Teor de Hidrogênio	%	5,98%	6,57%	6,28%
PCS	kcal/kg	4.377,70	4.475,90	4.426,80
PCI	kcal/kg	4.054,70	3.770,30	3.912,50
PCU	kcal/kg	2.063,80	1.787,40	1.925,60

Fonte: (RIPOLI et. al, 1990 b e RIPOLI 1991) adaptado.

Obs: Segundo HUGOT (1969), a massa de bagaço corresponde a cerca de 25% da massa de colmo.

Tabela 4: Dados de Hidrogênio, Umidade e PCI para cálculo de PCU em função da umidade

Palha: Folha seca+Folha verde	Unidade	MÉDIA
Umidade	%	32,27%
H	%	6,31%
PCI	kcal/kg	4.039,00
PCU	kcal/kg	2.441,00
Bagaço	Unidade	MÉDIA
Umidade	%	49,87%
H	%	6,28%
PCI	kcal/kg	3.912,50
PCU	kcal/kg	1.925,60

Fonte: (RIPOLI et. al, 1990 b e RIPOLI, 1991) adaptado.

Obs: Folha seca + folha verde + ponteiro ponderados pelo índice de cada constituinte no palhico (Tab.2). Bagaço: dados médios da Tab.3

No setor sucro-alcooleiro, frequentemente são utilizadas para cogeração de energia (emprego de mais de um ciclo termodinâmico em um processo de produção de energia) caldeiras alimentadas por bagaço. Após a queima do bagaço, os gases de combustão entram em contato pelo lado externo com superfícies metálicas tubulares, pelo lado interno das quais circula água em alta pressão (LORA et. al, 2008). Através destas superfícies metálicas, os gases da combustão transferem o calor liberado pela queima do combustível para a água, resultando em vapor com elevado nível de energia térmica (em condições elevadas de temperatura e pressão).

Utilizando as tabelas de vapor, a partir das condições de temperatura e pressão é possível calcular a quantidade de vapor gerado pela caldeira.

Vale ressaltar que nenhuma caldeira é 100% eficiente e que a Dedini, importante fabricante de caldeiras para o setor sucroalcooleiro, garante 89% de eficiência nas suas caldeiras sob altas condições de temperatura e pressão (ex: 100 bar/530°C e 67 bar/480°C). DEDINI (2009).

A Figura 3 apresenta a utilização dos tipos de vapores na usina de açúcar e etanol.

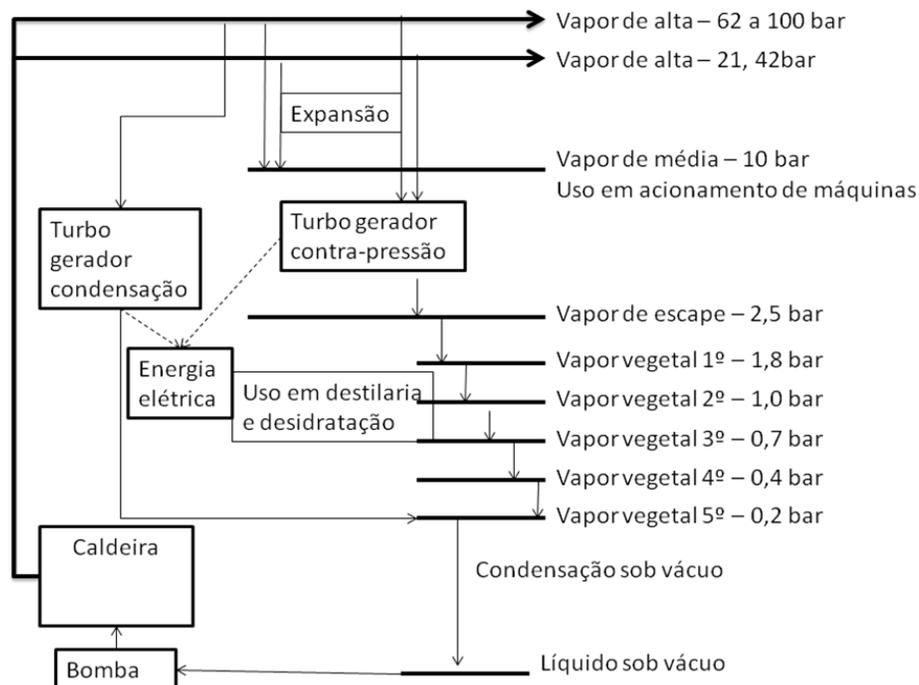


Figura 3: Utilização da energia térmica e elétrica no setor sucroalcooleiro.

Fonte: Adaptado de ENSINAS et. al (2010).

Ao passar pelos turbogeradores, a energia térmica é transformada em energia elétrica, sendo a eficiência do equipamento expressa pelo seu consumo específico, que relaciona a energia elétrica produzida e a energia térmica de entrada (ou a quantidade de vapor de entrada). A energia elétrica produzida é utilizada pelos equipamentos elétricos existentes na própria usina, bem como é exportada para as concessionárias de energia.

A energia elétrica exportada é remunerada pelo MWh produzido em leilões. Figura 4 apresenta a evolução do preço do MWh em leilões realizados pela Câmara e Comercialização de Energia Elétrica-CEE.

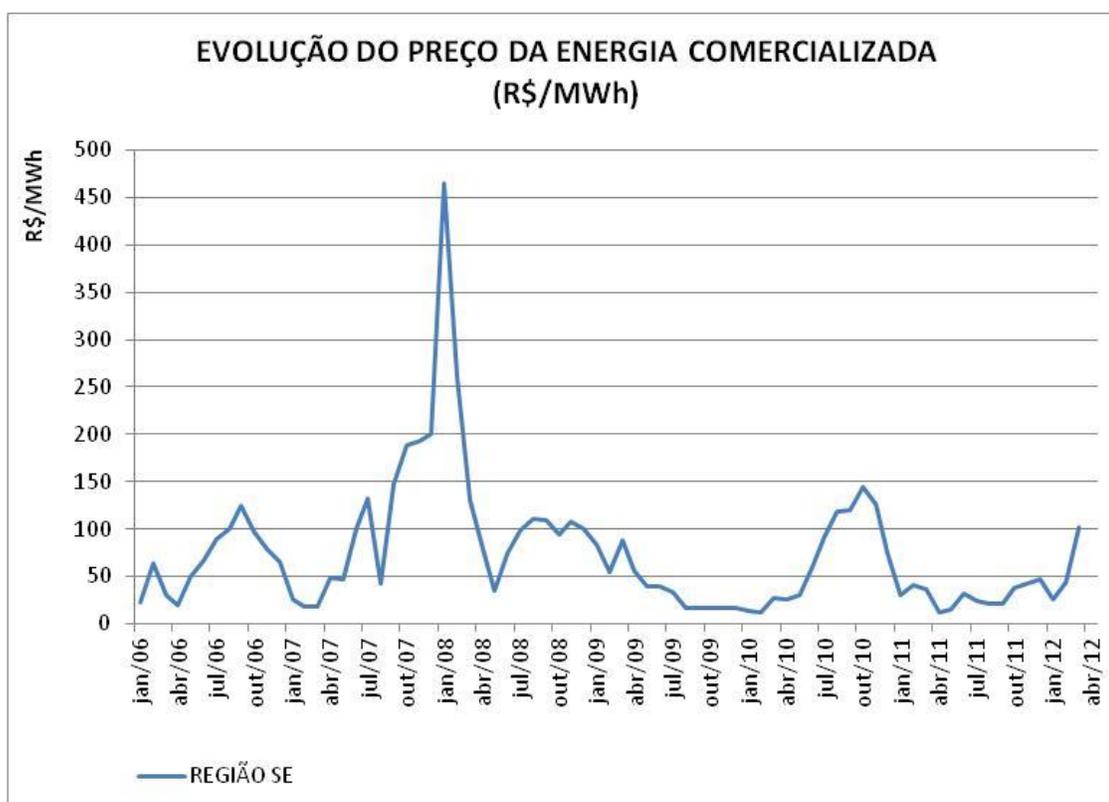


Figura 4: Evolução do preço da energia comercializada (R\$/MWh)

Fonte: CCEE – Câmara e Comercialização da Energia Elétrica

Alguns especialistas do setor alertam que o Governo Federal vem cometendo erros fixando preço-teto muito baixo para bioeletricidade. Para o leilão de 22/03/12, foi estabelecido o teto de R\$112/MWh, significativamente mais baixo que os valores de 2010 (R\$139/MWh). UNICA (2012).

CORTEZ (2010) relatou que as possibilidades de utilizar palha de cana nas caldeiras das usinas de açúcar e etanol vêm sendo recentemente avaliadas no setor industrial e agrícola sendo importante levar em consideração os fatores de *fouling* e *slagging*. Pode ocorrer *fouling* nas superfícies de troca térmica dos sistemas de geração de vapor quando os resíduos gerados durante a combustão e depositados nas superfícies de intercâmbio de calor advêm de substâncias que se vaporizam durante a combustão e logo se condensam sobre as superfícies mais frias. O fenômeno de *slagging* ocorre quando os inorgânicos se fundem ou adquirem elevada viscosidade, formando diretamente depósitos nessas condições. Ambos os fenômenos geram depósitos de baixa condutividade térmica e elevada reflectância, prejudicando a eficiência de troca de calor e a operação da caldeira, além de acelerar o fenômeno de corrosão nas superfícies de troca térmica.

3.3 –ROTAS DE RECOLIHMENTO DE PALHIÇO

A manutenção do palhiço no campo como forma de cobertura vegetal para o solo, segundo CALDEIRA (2002), apresenta como aspectos favoráveis a retenção de umidade e melhoria nas propriedades biológicas, químicas e físicas do solo.

Em contrapartida, FRANCO (2003) ressalta que a manutenção do palhiço no campo em excesso pode causar problemas tais como retardamento na brotação devido à menor incidência de luz, aliada a diminuição da temperatura do solo e aumento da umidade com conseqüente proliferação de doenças; a imobilização de nutrientes minerais, principalmente o nitrogênio, podendo afetar a produtividade da cultura; as dificuldades na operação das máquinas para realização de tratos culturais; problemas operacionais causando perdas e injúrias da soqueira; também a maior incidência de pragas, entre outros.

Portanto é interessante saber a quantidade de palhiço necessária de ser mantida no campo.

MANECHINI et al. (2005) deu uma importante contribuição para os interessados em palhiço recomendando que cerca de 65% do palhiço seja mantida sobre o solo, por razões agronômicas, tais como a redução da erosão, o reciclo de nutrientes e a manutenção de um nível mínimo de umidade no solo. Em experimentos desenvolvidos em usinas do Estado de SP, o solo com menos de 7,5 t de palhiço / ha (matéria seca) em função da redução do efeito herbicida, necessitaram de uso cultivo mecânico ou controle químico de plantas daninhas.

Atualmente, a tecnologia difundida no mercado para colheita de cana picada pode viabilizar a recuperação de parte do palhicho de duas formas: através do recolhimento da palha que é lançada ao solo durante a operação de colheita, pela ação dos extratores contidos nas colhedoras; ou recolhendo parte das folhas antes das mesmas caírem o solo. Ex: via colheita integral ou a granel. BRAUNBECK et al. (2008).

A Figura 5 apresenta as opções de recolhimento de palhicho, segundo a visão de RIPOLI e RIPOLI (2009).

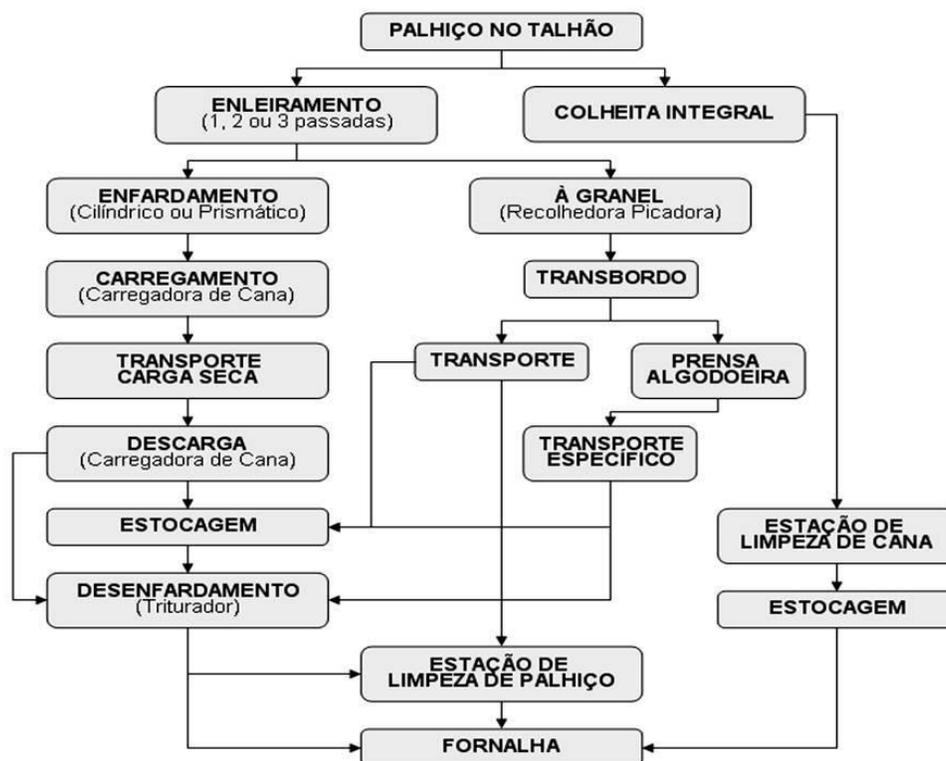


Figura 5: Fluxograma das opções de recolhimento de palhicho em estudo no Brasil.

Fonte: RIPOLI e RIPOLI (2002), citado por RIPOLI e RIPOLI (2009).

3.3.1 – PICADO A GRANEL

Em BRAUNBECK et al. (2008) explicam que no sistema picado a granel, o palhicho existente no solo sofre um processo de secagem natural sendo posteriormente rastelado com enleiradoras no intuito de concentrar o material. Após esta etapa, o palhicho é recolhido por uma colhedora de forragem que o submete a um processo de picagem reduzindo o seu tamanho (o

palhiço resultante possui aproximadamente 10 mm de tamanho). A picadora lança então o palhiço em transbordos e estes carregam os caminhões responsáveis por transportar a matéria-prima a unidades de beneficiamento da palha.

Ao chegar ao local, esta matéria-prima necessita ser descarregada, limpa, armazenada e encaminhada ao processamento.

GÓMEZ et. al (2010) relata que esta rota apresenta 3 grandes gargalos: o primeiro devido ao aumento drástico da contaminação do palhiço por impurezas minerais em função do contato com o solo posterior à colheita; o segundo está relacionado aos equipamentos recém-difundidos no mercado para retirada de terra da palha apresentam baixa eficiência; o terceiro é de ordem econômica já que a densidade alcançada por esta rota é baixa (90 kg/m³) inviabilizando economicamente o transporte para grandes distâncias entre lavoura e usina.

3.3.2 – ADENSAMENTO DE BAIXA PRESSÃO E ENFARDAMENTO

O sistema de adensamento via prensa algodoeira foi testada na Companhia Energética Santa Elisa, relatado por (LIMA, 2002).

Neste tipo de mecanismo, após receber o palhiço picado, o transbordo alimenta a prensa algodoeira no campo. MICHELAZZO (2005) relatou que o transbordo possui uma esteira dosadora acionada por um motor hidráulico para fazer o abastecimento da prensa de modo uniforme. Posteriormente, a prensa opera em um processo intermitente de adensamento de baixa pressão, em unidades estacionárias, onde o peso próprio do fardo, em função do seu grande tamanho, garante a manutenção de uma maior densidade, portanto não necessitando de amarração. O fardo é então transportado por um caminhão basculante especial até a usina.

Já na operação de enfardamento, o palhiço enleirado é recolhido pela enfardadora, por meio da qual se realiza uma prensagem de baixa pressão e posterior amarração já que o fardo sofre relaxação espontaneamente com perda de densidade. Os fardos são liberados pela enfardadora, permanecendo no campo para posteriormente serem carregados e transportados até a unidade de beneficiamento. BRAUNBECK et. al. (2008).

Ao chegar ao local de beneficiamento, a matéria-prima adensada ou enfardada necessita ser descarregada, descompactada, limpa, armazenada e encaminhada ao processamento.

Nessas rotas, os gargalos tecnológicos existentes no campo se assemelham muito ao já descrito no recolhimento de palhiço picado a granel: uma grande quantidade de impurezas minerais é levada até a unidade de beneficiamento. GÓMEZ et. al (2010).

3.3.3 – VIA COLHEITA INTEGRAL

Recolher o palhiço via colheita integral é tido como uma oportunidade para minimizar o teor de impurezas mineiras existentes no palhiço e os investimentos necessários para operar.

BRAUNBECK et al. (2008) relatam que a colhedora tradicional de cana-de-açúcar, o processo se inicia com o corte dos ponteiros, liberando parte deste material no solo. Após o despontamento, os colmos são inclinados pela ação de um defletor estático ou rotativo, na sequencia, dois discos com facas periféricas executam o corte basal, liberando os colmos das touceiras. À medida que a colhedora avança e, com auxílio dos discos cortadores de base, os colmos atingem um mecanismo de rolo levantador, seguido por uma cascata de rolos limpadores que conduz até o picador. Um grande volume de terra é retirado dos colmos durante a passagem destes pelos rolos limpadores. A separação de folhas e ponteiros remanescentes é realizada imediatamente após a picagem, quanto o material é lançado dentro de uma câmara de limpeza na qual existe uma corrente de ar ascendente grada um extrator de fluxo axial. Este extrator, conhecido como extrator primário, quando programado para funcionar com sua máxima rotação, limpa grande parte da palha e impurezas leves contida na biomassa, lançando-a no solo atrás da colhedora.

A velocidade do ar é suficiente para arrastar o palhiço, mas insuficiente para arrastar os rebolos. Existem perdas significativas de rebolões nesse sistema de separação pneumática, cuja magnitude depende da velocidade do ar adotada. BRAUNBECK et al. (2008).

As folhas secas, verdes e demais impurezas que não foram limpas, juntamente com os colmos, são conduzidas ao elevador que possui em sua extremidade o extrator secundário. Neste extrator, a biomassa sofre um segundo processo de separação sendo que material que não foi limpo pelo extrator secundário (mais pesado) é descarregado no transbordo que se localiza ao lado da colhedora. Já a folha seca, folha verde e demais impurezas que foram separadas pelo segundo extrator é lançada no solo lateralmente.

Como os extratores secundários são localizados a uma altura superior a altura de descarga do colmo, as impurezas limpas são lançadas após a linha em que o transbordo de colmo está trafegando.

É possível adaptar a colhedora tradicional de cana-de-açúcar com um duto que direcione o material separado pelo extrator secundário para um transbordo, que caminharia paralelamente ao transbordo de colmo e demais materiais não separados pelo extrator secundário. Ao chegar ao local de beneficiamento, a palha necessita ser descarregada, limpa, armazenada e encaminhada ao processamento. GÓMEZ et al. (2010).

O principal gargalo dessa rota é de ordem econômica já que a densidade da palha in natura está na ordem de 60 kg/m^3 , o que gera altos custos de transporte e inviabiliza este tipo de recolhimento até mesmo para distâncias curtas entre lavoura e usina, considerando o cenário atual de remuneração para cogeração de energia. GÓMEZ et al. (2010).

Outra forma de recolher a palha sem que haja preliminarmente um contato com o solo, é através da colheita integral, operando com os extratores primários e/ou secundários funcionando parcialmente ou desligados. GÓMEZ et al. (2010) e MARCHI et al. (2005).

MICHELAZZO (2005) analisou técnica e economicamente o recolhimento do palhiço considerando seis sistemas diferentes (briquetagem, peletização, fardo algodoeiro, picado a granel, fardo cilíndrico e colheita integral). De acordo com os resultados, o sistema de colheita integral apresentou o menor custo de recuperação do palhiço tanto para distância pequenas como para grandes distâncias. Além disso, a rota de recolhimento via colheita integral apresentou o segundo menor investimento agrícola (acima somente da rota através de fardo cilíndrico).

BRAUNBECK et al. (2008) alertou que a colheita integral apresenta vantagens como: pelo fato de as colhedoras operarem como os extratores desligados, o que elimina as perdas nessa parte do processo; e a eliminação do recolhimento e diminuição da impureza mineral no palhiço pelo fato de ele não estar contaminado com terra. Porém, a principal restrição desse sistema está associada à queda da densidade das cargas nos veículos de transporte, o que requer atenção especial na medida em que for utilizado em distâncias maiores.

Ao reduzir a densidade da carga transportada, acarreta em aumento nos custos operacionais de transbordo/transporte e, por consequência, no custo da matéria-prima que chega à Usina.

Por isso, a rota colheita integral possui um limite técnico-econômico de recolhimento, considerando a distância lavoura-usina e a quantidade de palhico existente na carga.

3.4 – RECEBIMENTO DE PALHIÇO NA USINA VIA COLHEITA INTEGRAL

RIPOLI (2009) desenvolveu uma metodologia que pode ser utilizada na caracterização da biomassa recolhida via colheita integral através da alocação de tambores dentro do transbordo ou rodotrem e posterior separação do material recolhido em classes e determinação da massa das mesmas (colmo, ponteiro, folhas verdes, folhas secas, frações de raízes também conhecidas como soqueira, impureza mineral).



Figura 6: Tambores posicionados dentro do transbordo e separação do material em classes.

Fonte: RIPOLI (2009)

Esta metodologia pode também ser utilizada para caracterizar a composição de biomassa que chega a usina para diversos cenários de regulagem de extratores da colhedora, ou seja, condições diferentes de massa de palha (folhas verdes e secas) contidas na biomassa. Exemplos: condições normais de colheita, desligar extrator secundário da colhedora e variar a regulagem do extrator primário, desligar os dois extratores, etc.

Ao caracterizar a biomassa recolhida via colheita integral, é possível também relacionar a densidade da carga transportada (via pesagem do transbordo utilizado relacionando ao volume do mesmo) com a massa de palha contida na biomassa.

Ao chegar à usina, o palhiço recolhido via colheita integral necessitará ser previamente tratado a fim de ser utilizado como matéria-prima para cogeração de energia (Figura 7).

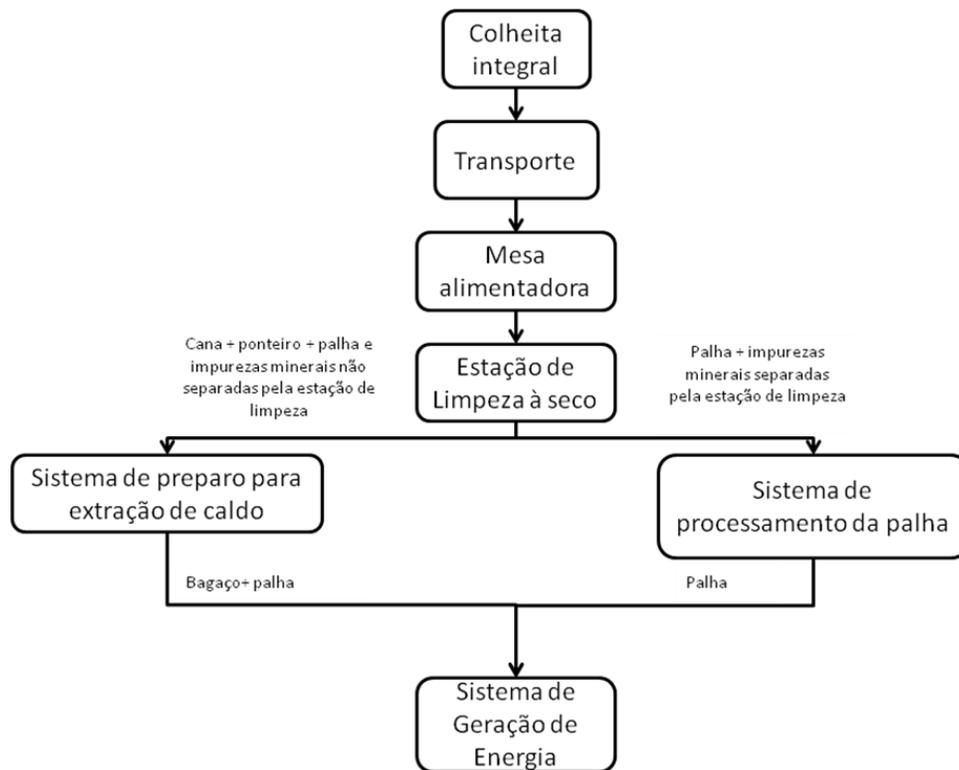


Figura 7: Fluxograma da palha recebida na usina via colheita integral.

Fonte: Adaptado de UNICA (2008), SCHEMBRI et al. (2002), JORNAL PARANÁ (2009), BRAUNBECK et al. (2008), LEAL (2010), PAES et. al (2005).

Com auxílio do hillo, a cana a ser processada é colocada em mesas alimentadoras, sendo transferida em esteiras metálicas até as moendas, passando pelo sistema de preparo. UNICA (2008) e LEAL (2010).

Nas usinas que possuem o interesse em aumentar a sua receita com cogeração de energia, na saída da mesa alimentadora deve ser localizado o sistema de limpeza à seco. RIPOLI e RIPOLI (2009).

Existem dois sistemas mais conhecidos pelo setor sucroalcooleiro brasileiro por serem capazes de realizar a separação parcial das impurezas leves (palha + terra) da cana, em escala industrial. Nesses dois sistemas, as demais impurezas vegetais tais como palmito e soqueira em

sua grande maioria não são separadas, pois caso contrário, uma grande quantidade de colmo seria retirada do processo de extração. GÓMEZ et al. (2010).

O princípio físico utilizado é o de separação pneumática dentro de uma câmara de limpeza e posteriormente queda do material separado em esteiras/calhas e transportados para o seu processamento. GÓMEZ et al. (2010).

A diferença significativa entre esses sistemas é o sentido que o fluxo de ar é imposto sob a biomassa: um ocorre no sentido de contra-fluxo da biomassa já que os ventiladores se localizam abaixo da mesa alimentadora, aproveitando a sua estrutura; o outro sistema realiza a separação com o fluxo de ar cruzando a cortina de biomassa lateralmente já que os ventiladores são localizados abaixo do eixo de acionamento da mesa. Os dois fornecedores relatam eficiências médias de limpeza na ordem de 70% das impurezas leves. JORNAL PARANÁ (2009), PAES et al. (2005) e GÓMEZ et al. (2010).

SCHEMBRI et al. (2002) realizaram testes de eficiência do sistema de limpeza da cana na usina desenvolvido pela SRI na Austrália, que também utiliza como princípio físico a separação pneumática. Os resultados dos testes indicaram que a eficiência de limpeza do sistema é afetada pela vazão mássica de ar aplicada na biomassa (relação direta) e pela umidade contida na biomassa de entrada (relação inversa).

A biomassa não separada pelo sistema de limpeza é encaminhada para o sistema de preparo com o objetivo de aumentar a sua densidade e, conseqüentemente, a capacidade de moagem. (UNICA, 2008).

Esta mesma bibliografia relata que o sistema de preparo é constituído por um jogo de facas com a finalidade de nivelar o colchão e reduzir o tamanho da matéria-prima. A seguir a matéria-prima passa pelo desfibrador no intuito de expor os açúcares da cana e também sofre ação de eletroímãs que realizam a remoção de materiais ferrosos, protegendo os equipamentos de extração.

Após o sistema de preparo, é realizada a alimentação da moenda pelo Chute Donnelly, tendo como resultados principais o caldo e o bagaço (após o último terno da moenda). Este bagaço constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%), numa quantidade de 240 a 280 kg de bagaço por tonelada de cana, é enviado para o sistema de geração de energia. UNICA (2008).

Portanto no bagaço existe uma perda de até 4% de sacarose (fração de sólidos dissolvidos enviados juntamente com o bagaço).

FERNANDES (2003) relata em sua obra a equação química de transformação de sacarose em etanol após a fermentação alcoólica, onde após a inversão da sacarose, as duas moléculas de açúcares invertidos podem ser diretamente fermentadas para conversão em quatro moléculas de gás carbônico, de acordo com a relação estequiométrica indicada na equação a seguir.



Sacarose + Água → Açúcares _invertidos → Etanol + Gás _carbônico



3.5 – ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

3.5.1 – CONTEXTO GERAL DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Segundo BATALHA (2001), os problemas de análise de investimento envolvem decisões de desembolsos de capital a serem realizados no presente que proporcionarão recebimentos em datas futuras, utilizando o fluxo de caixa como instrumento gerencial.

Portanto, o fator tempo é uma importante variável para este tipo de análise já que uma determinada quantidade de capital em diferentes instantes possui valores distintos devido à incorporação da taxa de juros.

Juros, para este mesmo autor pode ser definido como a remuneração obtida pela não utilização imediata do capital. São exemplos de aplicação de juros: lucro obtido na aquisição e venda de materiais e equipamentos; valor recebido pelo empréstimo de uma determinada quantidade de capital; ou valor pago por ter obtido recursos de empréstimos de capital.

Já a taxa de juros é a razão entre os juros pagos, ou recebidos no final de um período de tempo, e o capital emprestado. Esta taxa de juros pode ser classificada como taxa efetiva (taxa de juros real) ou taxa nominal (taxa de juros utilizadas em operações financeiras que possui uma relação linear com a taxa de juros efetiva). BATALHA (2001).

Para que o fator tempo seja considerado nas análises de investimento, é possível utilizar de técnicas de equivalência de capitais tais como Valor Futuro e Valor Presente de uma série de pagamentos.

BATALHA (2001) descreve o valor futuro como o valor em uma data futura de uma série de capitais em datas anteriores (Fig. 8). Já o valor presente, representa o valor na data zero de uma série de pagamentos realizados no futuro (Fig. 9).

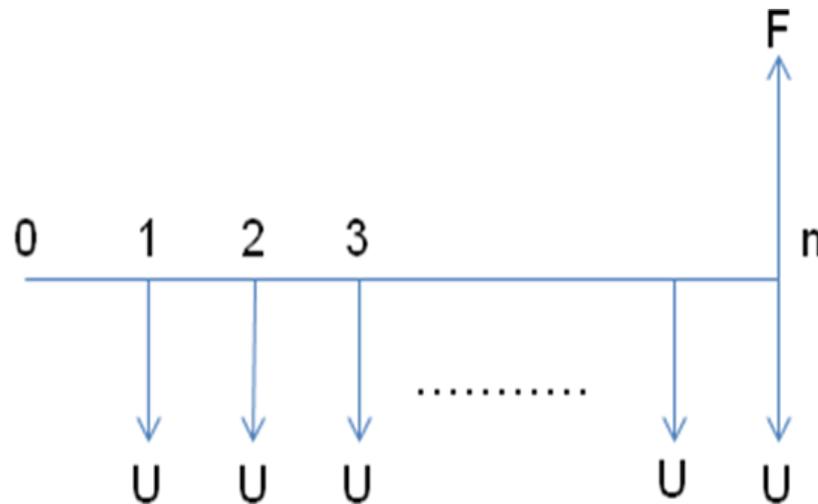


Figura 8: Valor Futuro de uma série de desembolsos.

Fonte: BATALHA (2001).

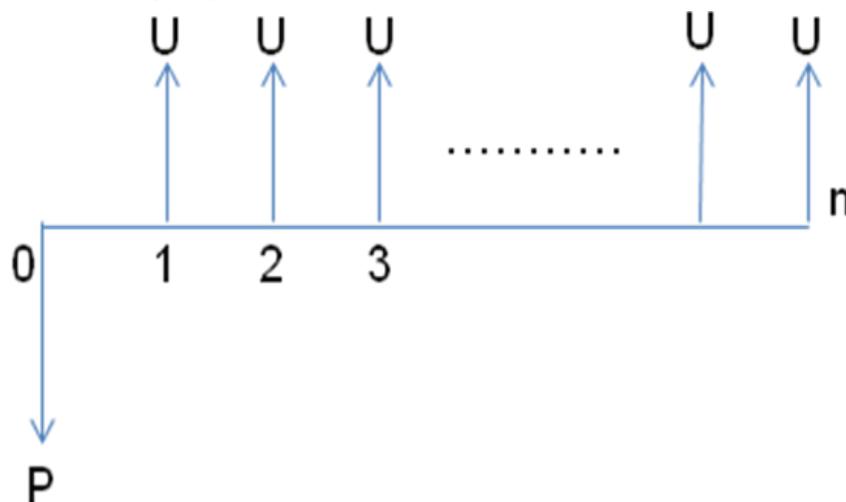


Figura 9: Valor Presente de uma série de desembolsos.

Fonte: BATALHA (2001).

Para se alcançar a equivalência de capitais, é necessário aplicar a taxa de juros efetiva nos desembolsos considerados.

A equação a seguir apresenta a fórmula para calcular Valor Futuro e o Valor Presente de um único desembolso. BATALHA (2001).

$$F = P \times (1 + i)^n$$

Sendo:

i (%) = taxa de juros efetiva de um determinado período

F (R\$) = valor do capital em uma demanda futura

n = número de períodos de juros

P (R\$) = valor do capital no presente (na data zero)

Utilizando relações matemáticas, é possível equacionar os valores presente e futuros para uma série de desembolsos.

$$F = U \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Sendo:

U = valores que deseja transportar no tempo

i (%) = taxa de juros efetiva de um determinado período

F (R\$) = valor do capital em uma demanda futura

n = número de períodos de juros

$$P = U \times \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n \times i}$$

Sendo:

U = valores que deseja transportar no tempo

i (%) = taxa de juros efetiva de um determinado período

P (R\$) = valor do capital no presente (na data zero)

n = número de períodos de juros

3.5.2 – MÉTODOS PARA ANÁLISE DE INVESTIMENTO

BATALHA (2001), relata que os métodos mais comuns para análise e seleção de oportunidades de investimento são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Anual Equivalente (VAE), Payback.

Segundo este mesmo autor, um conceito importante para análise de investimento é a Taxa Mínima Atrativa de Retorno (TMAR) conhecida como a taxa mínima aceitável para aprovar as propostas de investimento da empresa. Esta taxa é determinada pela cúpula administrativa da empresa, pois será utilizada por todos os setores da organização.

O método Valor Presente Líquido consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperadas, descontando uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente. Por isso, a taxa de juros envolvida também é chamada de taxa de desconto. BATALHA (2001).

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

Sendo:

X (R\$) = valores de desembolso ou recebimento do fluxo de caixa

i (%) = taxa de juros efetiva de um determinado período

n = número de períodos de juros

BATALHA (2001) relata em sua obra que a aprovação do investimento está condicionada ao VPL maior que zero. Se o VPL for menor ou igual a zero, significa que o retorno do investimento é inferior ao mínimo esperado; portanto o projeto deve ser rejeitado.

Já o método da taxa interna de retorno (TIR) consiste em encontrar a taxa de juros que torna uma série de desembolsos equivalentes na data presente, ou seja, VPL igual a zero.

Ainda segundo o autor, se a TIR da alternativa de investimento for maior que a Taxa Mínima Atrativa de Retorno (TMAR), o investimento é aprovado. Caso contrário, é rejeitado.

Quando se tem análises de investimento com vidas diferentes, pode-se utilizar o método do Valor Anual Equivalente (VAE). Este método consiste, basicamente, em transformar o fluxo de caixa da alternativa de investimento em análise num fluxo de caixa uniformemente distribuído, utilizando-se uma TMAR. Isso pode ser obtido através do cálculo do valor presente líquido de cada alternativa em análise para, em seguida, transformar o valor obtido em uma série uniforme para o prazo de cada alternativa. Caso se esteja trabalhando com receitas, escolhe-se a alternativa cujo VAE for mais positivo; se a análise estiver baseada nos custos de cada alternativa, o menor valor absoluto corresponderá à melhor alternativa. BATALHA (2001).

Este mesmo autor relata que o método do payback consiste em determinar o número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Embora simples e de utilização ampla, este método apresenta algumas imperfeições conceituais. São elas:

- Não considera o conceito fundamental do valor do dinheiro no tempo;
- Ignora as variações do fluxo de caixa após o período de recuperação do investimento;
- Tem uma ênfase a curto prazo.

Porém, é possível melhorar a aplicação do método do payback considerando o valor do dinheiro no tempo, através do cálculo do fluxo de caixa acumulado a valor presente, utilizando uma taxa de desconto determinada previamente. BATALHA (2001).

3.5.3 – ANÁLISE DE INVESTIMENTO APÓS O IR

É importante considerar na análise de fluxo de caixa, os impostos a serem pagos por cada setor econômico, tais como ICMS, PIS/COFINS, Contribuição Social e Imposto de Renda (IR).

Este último é apresentado com destaque na obra de BATALHA (2001), que esclarece que as regras de incidência de imposto de renda têm como base os dados contábeis. O imposto de renda incide sobre o lucro tributável e a legislação tributária permite às empresas deduzirem de seu lucro anual, a correspondente carga de depreciação para fins de cálculo do IR.

A depreciação de um bem físico pode ser definida como perda de valor desse bem, não recuperada pelo serviço de manutenção, no decorrer do tempo. Essa perda de valor ocorre principalmente pelo desgaste físico do equipamento ou obsolescência tecnológica.

Existe uma série de métodos de depreciação tais como o método linear, exponencial e soma de dígitos, sendo que o primeiro é o mais simples e utilizado no Brasil (por ser o método permitido pela Receita Federal). BATALHA (2001).

De acordo com OLIVEIRA (1982), a principal dificuldade da análise de investimento após o IR ocorre devido ao fato de que dificilmente na prática das empresas, a vida econômica dos equipamentos coincide com a vida contábil. Se a vida econômica e a contábil forem iguais, o ativo será depreciado totalmente ao longo do período planejado. Por outro lado, se a vida econômica for maior que a vida contábil, o ativo será depreciado totalmente durante o período planejado. E se a vida econômica for menor que a contábil, o ativo será depreciado parcialmente durante o horizonte do projeto.

Ainda segundo OLIVEIRA (1982), se o ativo apresentar um valor residual maior que o seu valor contábil, no momento da sua retirada de operação, essa diferença será considerada como lucro contábil e, portanto deverá ser tributada. No caso em que o valor residual é menor que o contábil, a diferença deverá ser considerada perda contábil, e portanto, será utilizada para abater o valor do imposto de renda a pagar.

BATALHA (2001) alerta ainda que alguns projetos podem apresentar, em determinados momentos, uma carga de depreciação maior que o lucro previsto antes do imposto de renda, ou seja, o projeto apresenta Lucro Tributável Negativo.

Na situação que a empresa apresenta lucro em seu balanço, o resultado negativo desse projeto reduz o lucro da empresa, provocando uma redução do valor a ser pago como imposto. Assim, do ponto de vista do projeto, essa redução de IR a ser pago deverá ser entendida como se fosse uma economia que o projeto está possibilitando a empresa.

LAPPONI (2000) descreve algumas expressões importantes para a formação do fluxo de caixa de um projeto de investimento.

Tabela 5: Construção de um fluxo de caixa (LAPPOLIN, 2000)

FLUXO DE CAIXA	
	Receita (R)
	Custos (C)
Lucro bruto operacional (LB)	$LB = R - C$
	Depreciação (Dep)
Lucro tributável (LT)	$LT = R - C - Dep$
Taxa do imposto de renda (T)	$IR = (R - C - Dep) \times T$
Imposto de Renda (IR)	
Lucro líquido operacional (LLO)	$LLO = LB - IR - Dep$
Fluxo de caixa operacional (FCO)	$FCO = LT + Dep - IR$
Capital de Giro (CG)	CG
Fluxo de caixa	$FCO - CG$

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – LIMITE TÉCNICO DE RECEBIMENTO DE PALHIÇO

A primeira parte da metodologia consistiu em analisar-se qual o limite técnico de recepção de palhiço adicional na usina via colheita integral (com equipamentos tradicionais de colheita), considerando uma usina que decida melhor utilizar a sua capacidade instalada na recepção (01 hillo e 01 mesa alimentadora) e deseja investir em 01 estação de limpeza à seco, respeitando o limite agrônômico indicado por MANECHINI et al. (2005).

4.1.1 – MATERIAIS

- Modelo computacional desenvolvido em Excel, composto por premissas que podem ser alteradas para a realidade de qualquer usina;
- Dados de revisão bibliográfica e de profissionais do setor que servirão como dados de entrada para simulação de cenários;
- Pesquisa com fornecedores de equipamentos para Usina Sucro-alcooleira.

4.1.2 – MÉTODOS

Como foi alertado por BRAUNBECK et al. (2008) a colheita integral apresenta como principal restrição ao recolhimento de palhiço, a queda da densidade das cargas nos veículos de transporte. Isto porque a palha ocupa parte do espaço destinado ao colmo, reduzindo a densidade.

O desenvolvimento do modelo computacional partiu da relação entre a porcentagem (em massa) de palha (folha seca+folha verde) existentes na carga que chega à usina, a porcentagem (em massa) de colmos existentes na mesma carga e a densidade da carga do rodotrem (Figura 10).

É importante relacionar esta porcentagem de palha com a quantidade que já entra na usina considerando como baseline o cenário atual de colheita mecanizada, bem com a quantidade de palhiço que foi deixado no campo à medida que se aumenta a quantidade de recolhimento do mesmo para respeitar o limite agrônômico de 65% do palhiço mantidas sobre o solo para não prejudicar o efeito herbicida (MANECHINI et al., 2005).

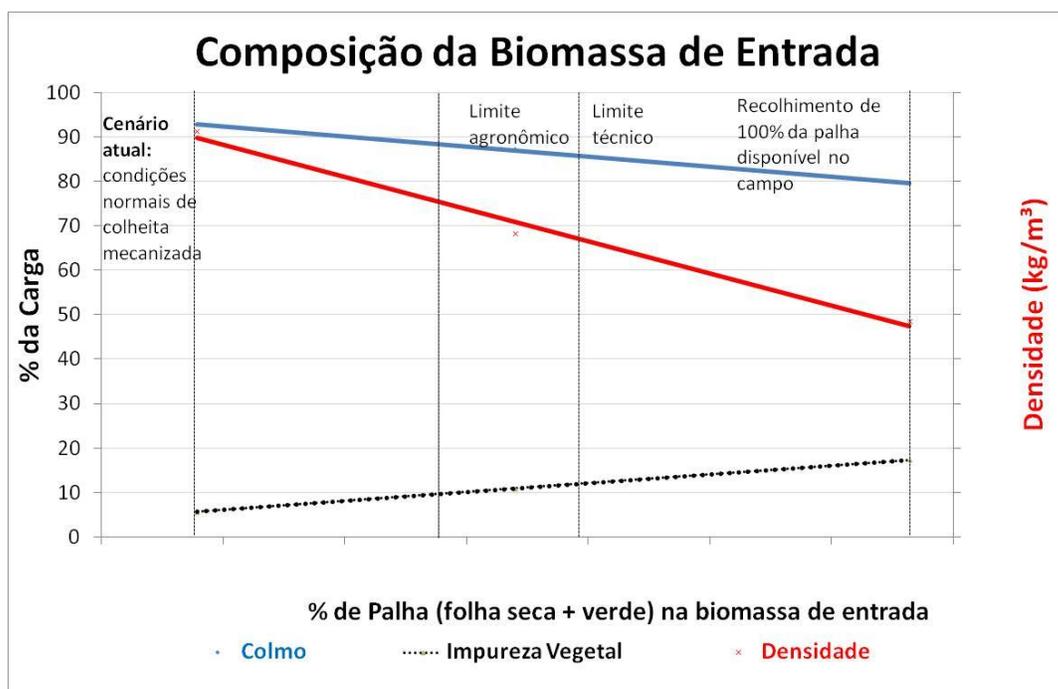


Figura 10: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada.

Obs: Impureza vegetal (matéria estranha de origem vegetal): folha seca, folha verde, ponteiro, restos de cultura como soqueira arrancadas)

As equações resultantes da Figura 10 foram utilizadas como premissas do modelo computacional, onde ao “inputar” uma determinada quantidade de palha contida na biomassa de entrada, automaticamente se sabe a quantidade de colmos e a densidade da carga transportada. Essas premissas foram baseadas em dados bibliográficos e experiências de profissionais do setor e possuem grande variabilidade (em função da variedade de cana, ano de corte da cana, condições climáticas, etc). Porém o modelo computacional está pronto para quaisquer dados de entrada, sendo necessária antes de cada utilização, a caracterização da biomassa de entrada de acordo com a metodologia descrita no item 3.4 por RIPOLI (2009).

Outra premissa que foi adotada neste trabalho é que as receitas de açúcar e etanol não serão diminuídas para proporcionar um aumento na receita de cogeração de energia. Por isso, devido ao menor percentual (em massa) de colmo contido na matéria-prima que chega à usina, para uma safra com quantidade fixa de dias, implica em uma maior quantidade de biomassa de entrada na usina para que a quantidade de colmo seja constante.

Assim, uma usina que recebia anteriormente, por exemplo, 2.000.000 de toneladas de biomassa, processará uma maior quantidade de biomassa e com uma densidade menor que a de costume.

De acordo com o fluxo mostrado na Figura 7, ao chegar à usina, o rodotrem com a matéria-prima é direcionado a mesa alimentadora onde, com auxílio do hillo, tomba a carga a ser processada (UNICA, 2008).



Figura 11: Mesa alimentadora e hillo – Usina Moema.

Fonte: ECLIMEC (2010).

Outra premissa do modelo retirada de observações reais do recebimento de biomassa em usinas foi que o tempo de tombamento do rodotrem na mesa alimentadora é constante. Consequentemente uma caixa com menor densidade de biomassa implica em menor vazão mássica de alimentação da usina.

Assim, a relação entre a vazão mássica de biomassa necessária para manter a produção de açúcar e etanol constante, o tempo fixo de tombamento de uma caixa de rodotrem e a densidade da carga que chega à usina, trouxe através do modelo computacional, qual o máximo de palha que pode estar contido na carga do rodotrem, sem que seja prejudicada a vazão de alimentação de uma mesa alimentadora.

O fluxograma apresentado na Figura 7 também mostra que uma usina que decida aumentar sua receita de cogeração de energia através do recolhimento de palhico via colheita integral, investirá em um sistema de limpeza à seco que estará localizado logo na saída da mesa alimentadora.



Figura 12: Sistema de Limpeza – Usina Guaíra.

Fonte: JORNAL PARANÁ (2009).



Figura 13: Sistema de Limpeza – Usina Pedro Afonso.

Fonte: BRUMAZI (2001).

Segundo dados apresentados pelo JORNAL PARANÁ (2009), PAES et al. (2005) e GÓMEZ et al. (2010), a eficiência média do sistema de limpeza é de 70%. Assim, 30% do palhiço adicional que chega a usina será processado juntamente com o colmo.

Portanto, é importante verificar se a capacidade do sistema de extração suportará a biomassa adicional que chegará a usina, considerando fixa a duração da safra. Esta verificação foi feita comparando a quantidade de biomassa a ser extraída em cada cenário testado (fornecida pelo modelo computacional) com a capacidade instalada da usina.

Outra premissa adotada pelo modelo é que o sistema de limpeza é dimensionado para retirar palha e impurezas minerais leves, já que se o sistema de limpeza for regulado para separar palmito e soqueira, uma alta quantidade de colmo será retirada do processo de extração.

Assim, dada a quantidade de palha e impurezas minerais separadas pelo sistema de limpeza à seco, o modelo fornece a capacidade de impurezas leves a serem processadas antes de serem enviadas ao sistema de cogeração de energia.

Também foi premissa do modelo computacional que a palha separada pelo sistema de limpeza queimará juntamente com o bagaço produzido pela usina no sistema de cogeração já existente, ou seja, a usina não investirá em um novo sistema de cogeração para queimar a palha adicional. Isto é factível já que tradicionalmente usinas compram matéria-prima de fornecedores para fazer com que a caldeira gere energia na entre safra. Além disso, GÓMEZ et al. (2010) relatou em sua obra casos de utilização da palha juntamente com o bagaço para cogeração de energia em usinas de açúcar e etanol, tal como ocorre atualmente na Usina Cerradinho e algumas Usinas do Grupo Cosan.

4.2 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: COLHEITA INTEGRAL TRADICIONAL

A segunda etapa da metodologia consistiu em avaliar economicamente a rentabilidade do projeto de investimento para uma usina que decida recolher maior quantidade de palhiço via colheita integral, processá-lo no usina e com isso aumentar a sua receita de cogeração de energia.

Para alcançar tais objetivos, foi construído um modelo computacional que possibilitou a simulação de cenários com diferentes quantidades de palhiço contidos na biomassa de entrada da usina, respeitando o limite técnico encontrado no item 4.1 bem como os seus impactos nos equipamentos e custos (agrícolas e industriais).

Para cada cenário, foram montadas análises de fluxo de caixa descontado (considerando o efeito do dinheiro no tempo), avaliando suas receitas, custos e investimentos, produzindo como resultado comparativo os seguintes indicadores econômicos: VLP, TIR, PAYBACK. BATALHA (2001).

4.2.1 – MATERIAIS

- Modelo computacional desenvolvido em Excel, composto por premissas que podem ser alteradas para a realidade de qualquer usina;
- Dados de revisão bibliográfica e de profissionais do setor que servirão como dados de entrada para simulação de cenários;
- Pesquisa com fornecedores de equipamentos para Usina Sucro-alcooleira.

4.2.2 – MÉTODOS

Da mesma forma como adotado no item 4.1, o cenário atual com condições normais de colheita integral mecanizada e sem sistema de limpeza à seco foi considerado o baseline de comparação com os novos cenários, ou seja, toda análise foi feita em cima de investimento/custo/receitas marginais.

Cada cenário possui uma determinada quantidade de palha contida na biomassa de entrada que levará a determinada receita adicional de cogeração de energia, receita incremental ou redutora devido à retirada ou não de açúcar do caldo por influência da quantidade de palha que

segue junto com o colmo, e incremento de custos operacionais (tanto agrícolas quanto industriais).

Tabela 6: Comparação entre os cenários

	Cenário atual	Cenário 1	Cenário 2
Sistema de Limpeza	Não	Sim	Sim
% de Palha na biomassa de entrada	X %	X %	Y %
Investimentos	0	I_1	I_2
Receitas	$R_{ref.}$	R_1	R_2
Custos	$C_{ref.}$	C_1	C_2
Receitas marginais	-	$R_1 - R_{ref.}$	$R_2 - R_{ref.}$
Custos marginais	-	$C_1 - C_{ref.}$	$C_2 - C_{ref.}$

4.2.2.1 – INVESTIMENTO INDUSTRIAL

A fim de se preparar o modelo para receber os dados de investimento industrial, foi realizado um mapeamento de todo o processo, desde a chegada do palhiço na usina até o seu destino final que é a caldeira.

A Figura 14 apresenta o sistema de recepção, o qual possui o uso compartilhado por toda a biomassa (colmo + palha + impurezas minerais + demais impurezas vegetais).



Figura 14: Mesa alimentadora – Usina Cerradinho.

As Figuras de 15 a 21 apresentam o fluxo de palha e impurezas minerais separadas pelo sistema de limpeza.



Figura 15: Grelha da mesa alimentadora – Usina Cerradinho.



Figura 16: Moega para captura de impurezas minerais retiradas pela grelha da mesa alimentadora – Usina Monte Verde.



Figura 17: Sistema de Limpeza – Usina Equipav.



Figura 18: Sistema de Limpeza – Usina Guaíra.



Figura 19: Peneira para retirada de impurezas minerais contidas na palha – Usina Equipav.



Figura 20: Picador de palha – Usina Cerradinho.



Figura 21: Transportadores condutores de palha por todo processo.

As Figuras 22 a 24 apresentam o fluxo da palha e impurezas minerais não separadas pelo sistema de limpeza.



Figura 22: Colmo + impurezas não separadas pelo sistema de limpeza.



Figura 23: Moenda (sistema de extração)



Figura 24: Bagaço após sistema de extração.

Já as Figuras 25 e 26 representam o sistema de cogeração de energia (combustão da palha separada e não separada pelo sistema de limpeza).



Figura 25: Caldeira.

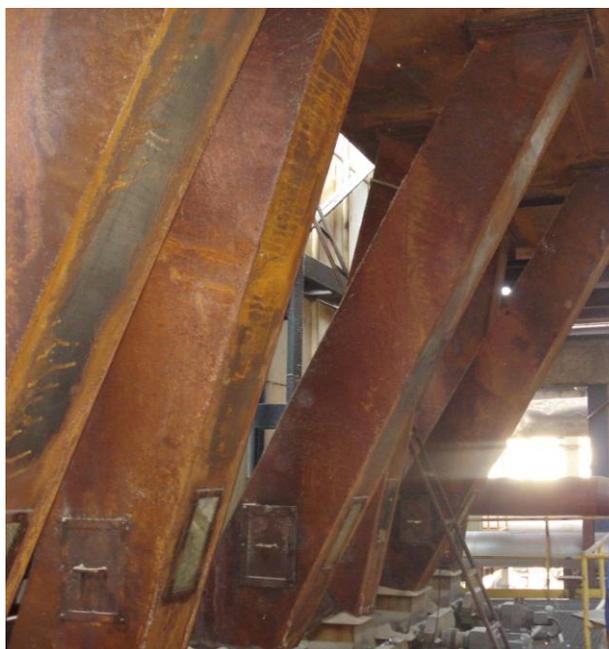


Figura 26: Entrada das palha + bagaço na caldeira.

O primeiro equipamento necessário para uma usina que queira melhor utilizar a sua capacidade instalada na recepção (01 hillo e 01 mesa alimentadora) e decida investir em incremento de cogeração de energia via palhiço é o sistema de limpeza.

A seguir são apresentados layout's ilustrativos mostrando a diferença significativa entre os dois principais sistemas de separação de palhiço existentes no mercado.

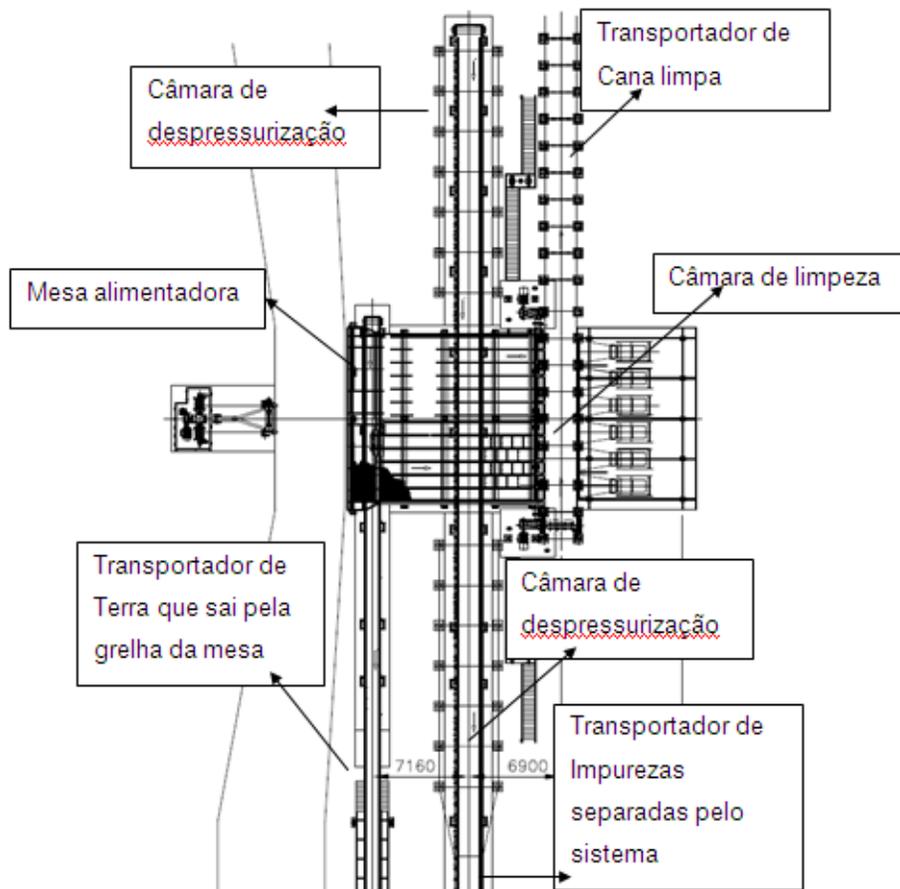
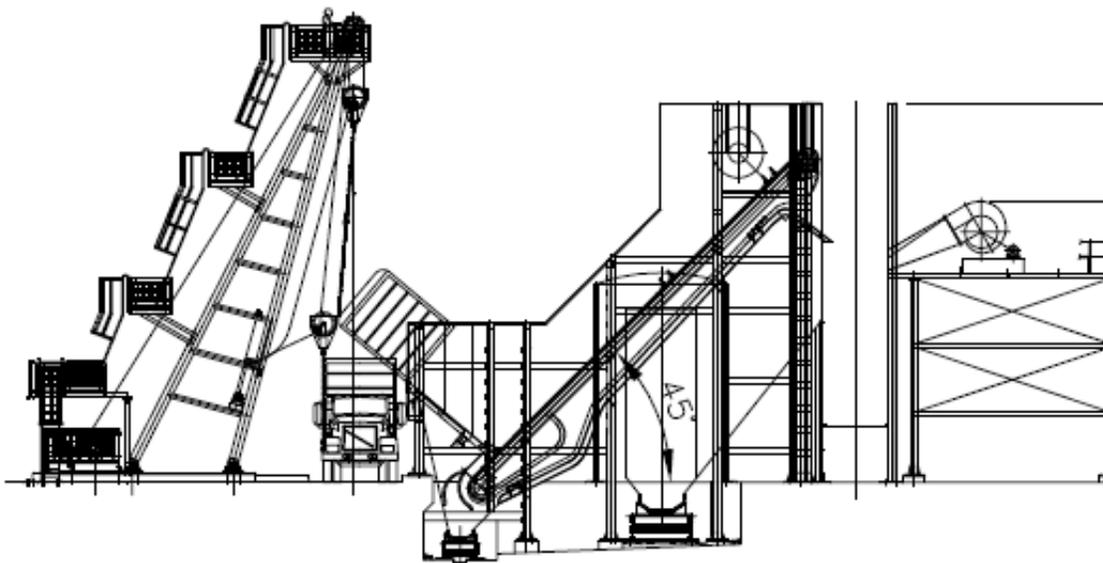


Figura 27: Sistema de Limpeza com ventiladores localizados abaixo do acionamento da mesa (fluxo de ar cruzando a cortina de biomassa)

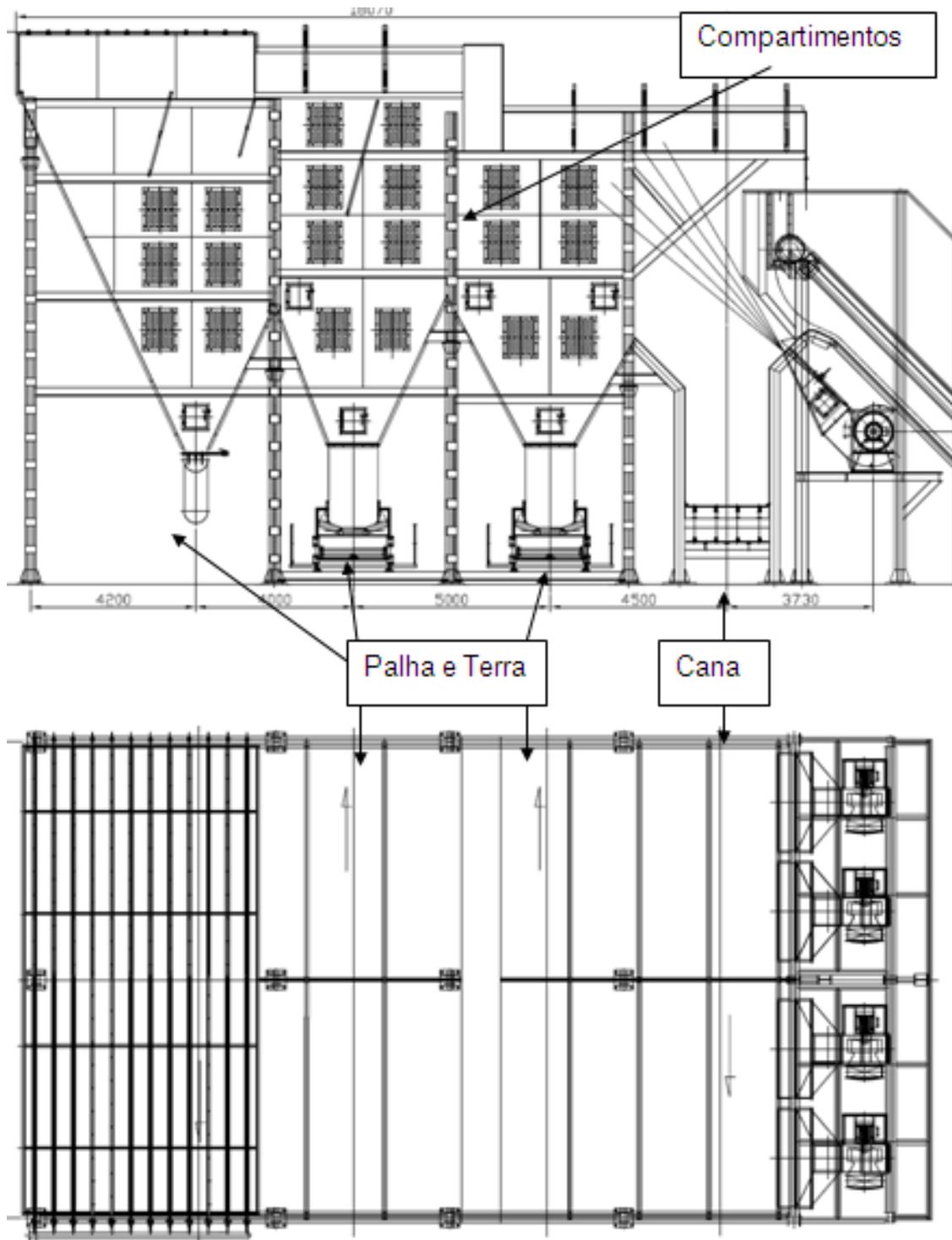


Figura 28: Sistema de Limpeza com ventiladores localizados abaixo da mesa alimentadora (fluxo de ar no contra-fluxo da biomassa)

Os dois sistemas de limpeza comparados realizam duas operações para separar a palha + impureza mineral do colmo:

- Separação de impurezas através de limpeza pneumática de toletes de cana (ventilação de palha + impureza mineral que entram juntamente com o colmo)
- Despressurização para possibilitar que as impurezas caiam em transportadores diferentes do transportador de colmo.

O sistema representado pela Figura 27 realiza os processos de separação e despressurização em câmaras separadas enquanto que o sistema representado na Figura 28 realiza estes processos em uma câmara única que pode ser composta por mais de um compartimento.

Tabela 7: Comparativo entre os sistemas de limpeza

	Sistema representado na Figura 27	Sistema representado na Figura 28
Objetivo Ventiladores	<p>Para separar Palha + Impurezas minerais leves do colmo</p> <p>Mesa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localizado no topo da mesa (abaixo do eixo de acionamento da mesa) - Composto por seis ventiladores que produzem fluxo de ar no sentido transversal a queda de biomassa (300 hp) - O sistema somente pode ser instalado em mesas de 45° e 16,6m de comprimento c/c. - Necessita de estrutura independente da mesa para suportar os ventiladores 	<p>Para separar Palha + Impurezas minerais leves do colmo</p> <p>Mesa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localizado abaixo da mesa alimentadora - Composto por quatro ventiladores que produzem fluxo de ar contrário à queda de biomassa (300 hp) - O sistema pode ser instalado em mesas a partir de 38° e não possui restrições de trabalho para mesas de 12m de comprimento c/c - A estrutura utilizada para suportar os ventiladores é pequena já que é aproveitada a estrutura da mesa 
Vias de transporte	<p>Seco: abaixo das câmaras de limpeza e despressurização são localizados transportadores de correia para o transporte de impurezas.</p>	<p>Seco: abaixo da câmara de limpeza/despressurização são localizados transportadores de correia para o transporte de impurezas.</p> <p>Úmido: abaixo da câmara de limpeza/despressurização são localizadas calhas e as impurezas são transportadas utilizando água.</p>

Tabela (cont.): Comparativo entre os sistemas de limpeza.

	Sistema representado na Figura 27	Sistema representado na Figura 28
<p>Tipos de câmara</p>	<p>Simples: câmara de despressurização em somente um lado da mesa alimentadora</p> <p>Dupla: câmara de despressurização nos dois lados da mesa alimentadora</p>	<p>Simplex: formada por um único compartimento.</p> <p>Duplex: formada por dois compartimentos. Possui uma vazão de ar maior que a câmara simplex e conseqüentemente maior potencial de remoção de impurezas. O transportador abaixo do primeiro compartimento carrega principalmente palha enquanto que o segundo carrega principalmente terra. Existem duas opções para assentar as impurezas minerais da última câmara:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizando água (aproximadamente 20 m³/h) através de aspersores localizados na parte superior da última câmara. A água utilizada é de circuito fechado. • Sem água na última câmara: tendência de mercado <p>Triplex: formada por três compartimentos. É a câmara que possui maior potencial de remoção de impurezas, pois trabalha sob condições de maiores vazões de ar. Os transportadores abaixo do primeiro e segundo compartimentos coletam principalmente palha enquanto que o transportador abaixo do último compartimento coleta principalmente terra. Existem duas opções para assentar as impurezas minerais da última câmara:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizando água (aproximadamente 20 m³/h) através de aspersores localizados na parte superior da última câmara. A água utilizada é de circuito fechado. • Sem água na última câmara: tendência de Mercado.

Por ter maior representatividade e resultados comprovados no mercado, o sistema de limpeza mostrado na Figura 28, instalado na mesa alimentadora, com vias de transporte secas e câmara triplex foi considerado no investimento.

A palha e impurezas minerais separadas pelo sistema de limpeza passam por uma peneira (Fig.19) para retirada de impurezas minerais visando evitar desgaste em caldeiras.

Devido ao dosador tradicional utilizado em caldeiras, a palha (após a passagem pela peneira) necessita ser reduzida de tamanho passando por um picador (Fig.20).

Visando eliminar o picador do sistema, existe a possibilidade de redução do tamanho da palha colocando-a antes do último terno de moenda tal como mostrado na Fig.29.

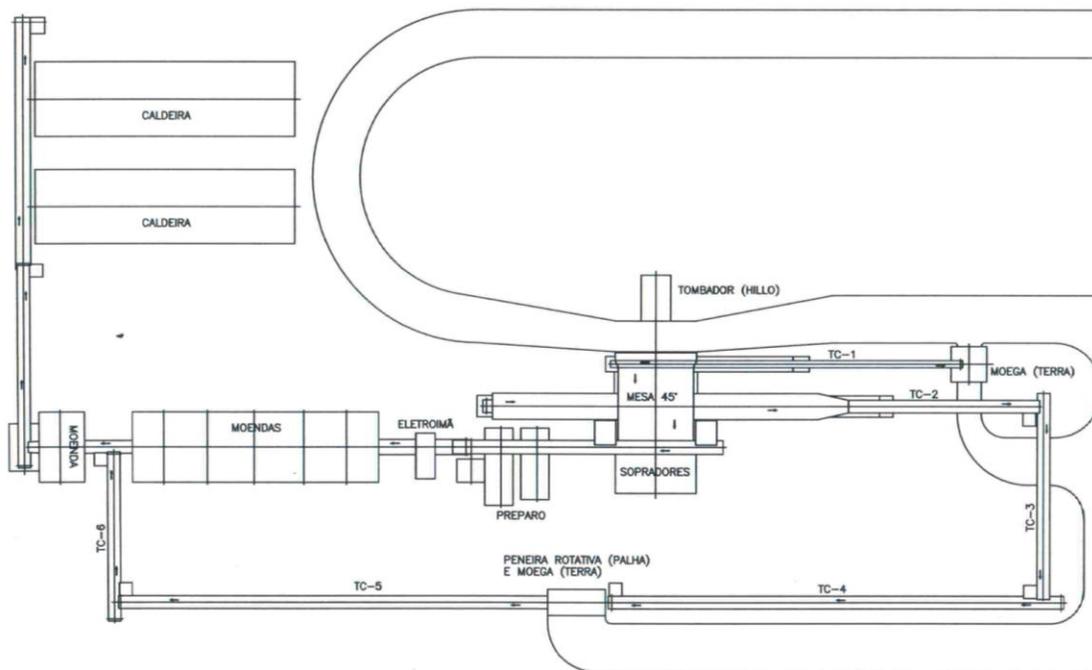


Figura 29: Layout com inserção da palha separada pelo sistema de limpeza via último terno de moenda.

Além dos equipamentos mencionados, é necessário o investimento em moegas para captação das impurezas minerais que saem pela grelha da mesa alimentadora bem como em transportadores de borracha que encaminham palha e impurezas minerais por todo o circuito.

Através deste detalhamento de processo, foram realizadas consultas a profissionais do setor para se ter uma estimativa de investimento de todos os equipamentos industriais necessários para processar a palha incremental. Vale lembrar que foi preciso considerar todo o investimento

industrial, ou seja, valor dos equipamentos com automação, frete (origem Piracicaba – Destino Marília), montagem, supervisão de montagem e posta em marcha.

Equipamentos tais como hillo, mesa alimentadora, sistema de extração e de cogeração não foram computados nos investimentos industriais dos cenários já que eles já existem na usina tradicional com capacidade suficiente para suportar o limite técnico. Porém, foram realizadas estimativa de investimento inicial a fim de calcular os custos operacionais que devem ser alocados a palha adicional ao baseline (forma de simplificação utilizada para cálculo de custos operacionais para equipamentos industriais do mercado sucro-alcooleiro).

4.2.2.2 – INVESTIMENTO AGRÍCOLA

Aumentar a quantidade de palha transportada para a usina impacta em investimentos agrícolas nos setores de corte, carregamento e transporte (CCT).

Analisando os fatores queda da densidade transportada e do aumento da biomassa de entrada da usina, serão necessárias uma maior quantidade de viagens de transbordo e rodotrens, sendo necessário um investimento nesses equipamentos.

A fim de se calcular o investimento em rodotrens, foram feitas as seguintes relações:

1. Quantidade adicional de biomassa necessária para ser transportada para a Usina em cada cenário (aumento de biomassa para manter fixa a quantidade de colmo, considerando o fator queda de densidade);
2. Quantidade de biomassa transportada por rodotrem (2 caixas de 90m³, com ocupação de 75%);
3. Quantidade de viagens que cada rodotrem faz por safra (considerando todo o ciclo de uma viagem para um raio médio de 12 km, ou seja, tempo parado no pátio e campo, percurso de ida, percurso de volta, tempo útil de operação);
4. Para cada 2 caixas adicionais do rodotrem, torna-se necessário investir em um cavalo e por consequência aumentar o custo operacional em 1 colaborador.

Já pensando no investimento em transbordo, foi feita a seguinte relação:

1. Necessidade de aumento de produtividade de colheita de biomassa do campo, ou seja, aumento da quantidade de biomassa colhida por tiro de colheita (devido ao aumento da palha adicional de cada cenário que precisa ser colhida, sem diminuição da quantidade de colmo);

2. Tempo de ciclo da colhedora é constante, independente do cenário (tempo percorrido por tiro de colheita + tempo de manobra no fim da linha). Porém, a relação tempo de ciclo / biomassa transportada diminui com o aumento da palha pois é necessário transportar uma maior quantidade de biomassa para manter o colmo que chega na usina constante;

3. Independente do cenário, a operação de colheita possui uma eficiência mecânica, é solicitada por 24 horas/dia (ao longo do período da safra) e possui um aproveitamento de jornada (que deve ser levado em conta absenteísmo, deslocamento de funcionários até o talhão, paradas para almoço, dias de chuva, etc). BANCHI et.al (2012).

Assim, foi possível relacionar o tempo de tiro de colheita + manobra no final da linha (t biomassa / máquina.hora descrita no item 2) com a jornada útil da operação de transbordo (horas / dia) resultando em t biomassa / colhedora . dia

4. Relacionado a quantidade de biomassa que precisa ser colhida por metro de colheita com a quantidade de biomassa que cabe no transbordo, tem-se a distância que cada caixa de transbordo percorre ao lado da colhedora até encher (a cada cenário em que se aumenta a quantidade de biomassa a ser transportada, uma caixa de transbordo precisa de um menor tempo para encher);

5. O tempo de ciclo do transbordo consiste em somar: o tempo gasto até chegar na colhedora + tempo gasto ao lado da colhedora + tempo de volta até a cabeceira do talhão + tempo gasto para transbordar carga para o rodotrem. Como o tempo gasto ao lado da colhedora diminui com o aumento da quantidade de palha (item 4), o tempo de ciclo do transbordo também diminui já que os demais tempos são constantes;

6. Relacionando a quantidade de biomassa necessária de ser colhida com a quantidade de transbordos necessários por colhedora, obteve-se o número de transbordos necessários em cada cenário;

7. Os transbordos adicionais ao baseline de 1,56% de palha foram computados como investimento em cada cenário.

Já analisando a diminuição de velocidade da colhedora (queda da produtividade), dado uma safra com quantidade fixa de dias, pode ser necessário um investimento em colhedoras. Porém, como a viabilidade técnica de recebimento da palha na usina resultado do item 5.1 foi baixa, utilizou-se a premissa que a colhedora trabalhará na mesma velocidade da colheita atual, não necessitando de investimento em colhedoras adicionais.

4.2.2.3 – RECEITA BRUTA

No modelo foram contempladas duas receitas brutas marginais relacionadas ao aumento de palhiço: cogeração de energia (A) e variação de açúcar retirado do caldo convertido em ganho/perda de produção de etanol (B).

A) Cogeração de energia

No modelo matemático, cada cenário possui uma determinada quantidade de palha contida na biomassa. Em função da ineficiência do sistema de limpeza (vide Figura 7) parte da palha chegará à caldeira via rota seca e a outra parte via rota úmida (junto com o colmo).

De acordo com o descrito anteriormente, dependendo da rota seguida, os combustíveis apresentarão Poder Calorífico Útil (PCU) diferentes. Os PCU's multiplicados pela vazão mássica de combustível resultaram numa determinada quantidade de calor gerado pela combustão. Relacionando o calor gerado pela queima do combustível com a entalpia de vaporização da água à temperatura e pressão do vapor gerado pela caldeira e a eficiência da mesma, foi obtida a vazão de vapor produzida pela caldeira.

Com a vazão de vapor, utilizando-se o consumo específico de vapor da turbina, foi calculada a energia elétrica produzida. Posteriormente, a energia elétrica gerada foi multiplicada pelo preço da energia, obtendo-se a receita com a cogeração do palhiço adicional.

Espera-se que a usina que decida investir neste projeto possua alta tecnologia e uma política de redução de gastos de energia, sendo o vapor de escape gerado pelo bagaço mais que suficiente para suprir as necessidades da indústria, ou seja, o excedente de energia gerado pela palha seria direcionado 100% a turbina de condensação que possui menor consumo específico.

B) Produção de etanol

Cada cenário possui uma determinada quantidade de palha enviada junto com o colmo para o processo de extração. Isto porque parte da palha contida na biomassa de entrada não é separada pelo sistema de limpeza. Com o aumento da palha no caldo, esta absorve sacarose do caldo (pol), ou seja, para condições de bagaço com 4% de pol, as folhas entrarão com pol igual a

zero e sairão com pol = 4% (equilíbrio com o bagaço). Por outro lado, a diminuição de palha no caldo implica em uma “economia” de açúcar.

Todo o açúcar absorvido/economizado foi convertido em etanol.

Para o cálculo do etanol de cada cenário, considerou-se sistema de produção possui uma eficiência de extração e de produção de etanol. Assim, a perda de açúcar redutor total (ART) equivale à variação de pol da palha multiplicada pelas eficiências de extração e produção de etanol e pela quantidade de palha em cada cenário.

A ART real perdida/economizada em cada cenário foi convertida em etanol através da estequiometria demonstrada na Equação descrita por FERNANDES (2003) descrita no item 3.4, ou seja, 0,6475 L etanol / kg de açúcar. A perda de ART (kg/safra) multiplicada por 0,6475L etanol/kg de açúcar resulta na quantidade de etanol com 100° GL. Dada a especificação de graduação alcoólica do etanol hidratado (95,10° GL) é possível fazer a conversão do etanol hidratado perdido/economizado em cada cenário.

Ao se multiplicar o etanol de cada cenário pelo preço de venda, resulta na receita perdida em cada cenário. A receita marginal perdida/economizada em cada cenário foi adicionada ao fluxo de caixa correspondente.

4.2.2.3 – CUSTOS

Além dos custos operacionais do sistema de limpeza (ex: mão de obra, energia, etc), o palhiço adicional ao já existente no cenário de referência deverá pagar o aumento dos custos agrícolas e parte dos custos operacionais tais como uso do sistema de cogeração de energia, hillo e mesa alimentadora.

A seguir estão listados os custos operacionais que foram considerados no modelo computacional:

- ✓ Picador de palha, sendo composto por: manutenção de facas e contra-facas, energia elétrica e mão-de-obra;
- ✓ Estação de limpeza à seco (ventiladores, peneira, transportadores e moega), constituído por: manutenção, mão-de-obra e energia elétrica;

- ✓ Uso do Sistema de Cogeração: Manutenção e mão-de-obra proporcionais à relação entre a quantidade energia elétrica gerada pela palha adicional e quantidade total de energia gerada. Foi considerado um sistema de cogeração de energia formado por caldeira e turbo - geradores;
- ✓ Uso da Mesa e Hillo: Manutenção, mão-de-obra e energia elétrica proporcionais a porcentagem de palha contida na biomassa de entrada;
- ✓ Agrícola: Todos os custos existentes nas etapas de corte, carregamento e transporte do palhiço adicional, além de manutenção e mão-de-obra dos equipamentos comprados para possibilitar o a chegada de uma quantidade maior de palhiço na usina. No modelo utilizado, os custos agrícolas variaram em função da distância lavoura – usina.

Obs: como viabilidade técnica de recebimento do palha na usina foi baixo (equivalente da 5,26% tal como apresentado do item 5.1), não foi rateado os custos operacionais do sistema de extração entre palha e colmo, bem como não foi adicionado o custo operacional da colhedora já que o principal fator que faz variar o custo operacional da colhedora é a velocidade e este foi considerado constante.

Com relação ao corte, por não variar a velocidade da colheita em função da quantidade de folhas contidas na biomassa de entrada, o custo total do corte ficou constante ao se aumentar a quantidade de palha colhida. Porém, como é necessário se trazer uma maior quantidade de biomassa para a usina (para manter os colmos constantes), o custo unitário (R\$/t biomassa colhida) diminui para manter a razão de custo constante. Adicionalmente a distância entre lavoura-usina também não influencia o tempo de ciclo da colhedora. Sendo assim, o custo de corte/ t biomassa é constante para uma mesma quantidade de palha de entrada.

Em se tratando de custo de transbordo (carregamento), este foi expresso no modelo por uma fatia de custo fixo e outra que variou em função da distância percorrida por mês em cada cenário.

O transbordo enche mais rápido à medida que se aumenta a quantidade de biomassa a ser transportada. Portanto cada caixa percorre uma menor distância em cada ciclo (km / caixa). Adicionalmente ao aumentar a quantidade de palha na biomassa transbordada, a capacidade efetiva do transbordo diminui (t biomassa / caixa) em uma proporção mais significativa que a diminuição da distância percorrida por caixa (em função da queda brusca de densidade). Estes

dois efeitos combinados fizeram com que a razão (km / t biomassa) aumentasse a cada cenário que uma maior quantidade de palha fosse colhida.

Por outro lado, a cada cenário com maior quantidade de palha, a quantidade transbordada por dia por cada caixa do transbordo é menor (t biomassa / transbordo. dia). Ao se multiplicar (km / t biomassa) por (t biomassa / transbordo.dia), obteve-se a distância rodada por cada caixa de transbordo por mês, que aumentou em função do aumento de palha.

Portanto quanto maior a quantidade de palha na biomassa transbordada, maior o custo variável do transbordo e por consequência maior o custo total.

O custo de transbordo unitário (R\$/ t biomassa) aumentou em cada cenário pois além do numerador aumentar (custo), o denominador diminui (queda de densidade da biomassa transbordada). Adicionalmente, o custo de transbordo para uma mesma quantidade de palha transbordada não varia em função da distância lavoura-usina já que este fator praticamente não impacta no ciclo operacional deste equipamento.

Com relação ao custo de transporte, em um mesmo cenário de % de palha transportada, ao aumentar a distância entre a lavoura-usina, aumenta-se o custo de transporte. Adicionalmente para uma mesma distância lavoura usina, ao aumentar a quantidade de palha transportada no rodotrem, por diminuir a densidade, aumentou-se o custo unitário de transporte (R\$/t de biomassa transportada).

4.2.2.4 – IMPOSTOS

Foram considerados, no modelo, impostos:

- Sobre a receita: ICMS, PIS/COFINS
- Lucro presumido: Imposto de Renda (IR) e Contribuição Social (CS)

Isto porque a receita correspondente a palha adicional é inferior a 48MM anualizada, quantia que se torna obrigatória a apuração via lucro real. Além disso, fazer por lucro real traria uma complexidade significativa ao modelo pois seria necessário conhecer todos os custos industriais e agrícolas da usina, para se chegar ao lucro líquido de cada operação. (CARDOSO, 2012).

- Sobre a mão de obra: encargos sociais e FGTS de acordo com a CLT

4.2.2.5 – CAPITAL DE GIRO E DEPRECIÇÃO

Como o modelo considerou uma usina que já está em funcionamento, não foi considerada a necessidade de capital de giro.

A depreciação foi calculada para os novos equipamentos adicionais que a usina necessitará investir sendo que foi utilizado o tempo de amortização aceito pela receita federal.

4.2.2.6 – ANÁLISE DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO

O fluxo de caixa foi construído para cada cenário (comparando com o cenário de referência) todos os investimentos, receitas, custos, depreciação e impostos devido ao palhiço adicional. (LAPPOLIN, 2000).

O lucro líquido de cada ano contido no horizonte do projeto foi corrigido para a desvalorização do dinheiro no tempo, obtendo-se o Valor Presente daquele ano. A soma destes Valores Presentes diminuída do investimento constitui o Valor Presente Líquido (VPL).

Outro indicador obtido foi o payback, ou seja, o tempo necessário para que o VPL torne-se zero (tempo em que a soma dos lucros líquidos descontados equivalha ao investimento inicial).

Um terceiro indicador calculado pela modelagem foi a Taxa de retorno do investimento (TIR) que consiste no valor da taxa de desvalorização do dinheiro no tempo que tornaria o projeto, ao final da vida útil, com um valor presente líquido nulo.

	Cenário atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário limite
Sistema de Limpeza Sistema de Limpeza de Palhiço na Usina	Não	Sim	Sim	Sim
% de Palha na biomassa de entrada	X %	X %	Y %	Z%
Receitas	$R_{ref.}$	R_1	R_2	R_3
Custos	$C_{ref.}$	C_1	C_2	C_3
Investimentos adicionais	0	I_1	I_2	I_3
Receitas adicionais	-	$R_1-R_{ref.}$	$R_2-R_{ref.}$	$R_3-R_{ref.}$
Custos adicionais	-	$C_1-C_{ref.}$	$C_2-C_{ref.}$	$C_3-C_{ref.}$
TIR	-	TIR 1	TIR 2	TIR 3
VPL	-	VPL 1	VPL 2	VPL 3
PAYBACK	-	PB 1	PB 2	PB 3

Figura 30: Modelo – Resultados da análise de viabilidade econômica

Com posse do cenário de melhor viabilidade econômica, ou seja, $VPL \geq 0$ e $TIR > TMAR$ (taxa mínima atrativa de retorno) foram realizadas análises de sensibilidade (Fig. 31 e 32) para se avaliar a influência da distância na viabilidade do projeto, bem como o preço pago pela cogeração de energia nos indicadores econômicos do projeto. (LAPPOLIN, 2000).

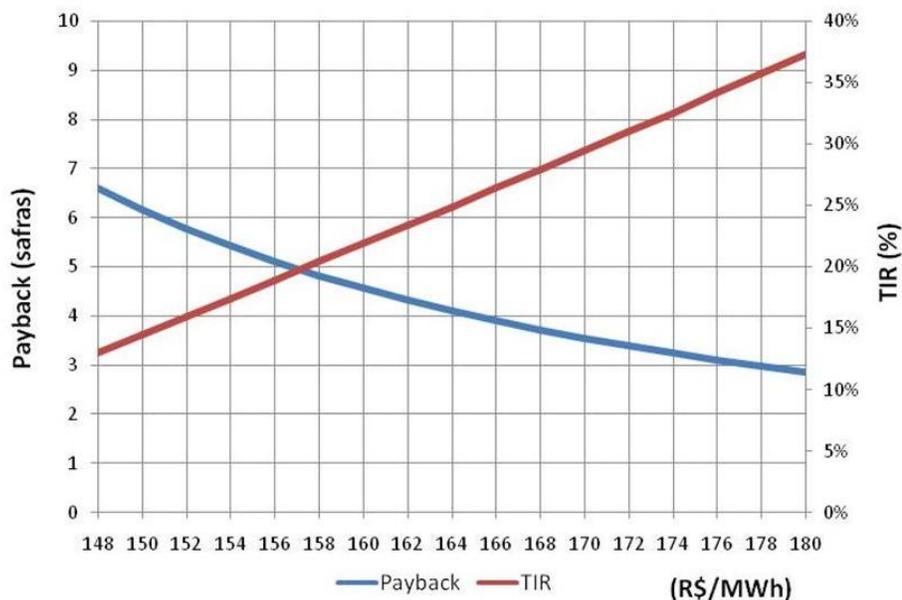


Figura 31: Modelo – Análise de sensibilidade da viabilidade do projeto com relação ao preço de cogeração de energia

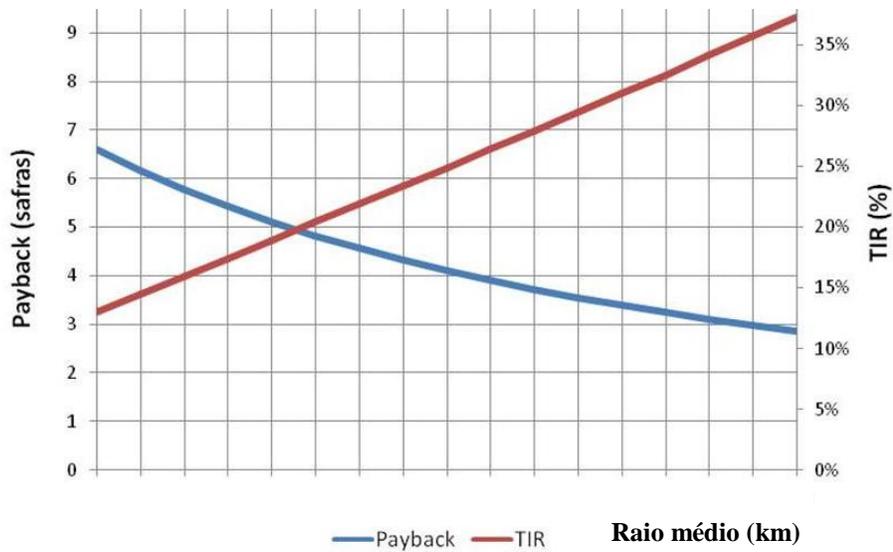


Figura 32: Modelo – Análise de sensibilidade da viabilidade do projeto com relação a distância entre lavoura - usina

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão deste capítulo foram divididos em 2 partes: a primeira referente ao limite técnico de recebimento do palhiço, a segunda referente a análise de viabilidade econômica considerando a colheita integral tradicional para diversos cenários.

5.1 – LIMITE TÉCNICO DE RECEBIMENTO DE PALHIÇO

As Tabelas 8 e 9 apresentam as premissas adotadas para a caracterização da biomassa de entrada da usina e da biomassa existente no campo.

Tabela 8: Composição e densidade da biomassa de entrada da usina variando em função da quantidade de palha existente em cada cenário

Classe	Unidade	Extratores ligados (cenário atual de colheita integral)	Extratores parcialmente ligados	Extratores desligados (recolhendo 100% das palha disponível no campo)
Colmo	% base mássica	92,70	87,2	79,47
Soqueira	% base mássica	0,62	0,62	0,62
Palmito	% base mássica	3,48	3,48	3,48
Palha (Folha Seca + Verde)	% base mássica	1,56	6,79	13,28
Impureza Mineral (terra solta)	% base mássica	1,64	1,91	3,15
Total	% base mássica	100,0	100,0	100,0
Densidade	kg/m ³	456,19	341,8	243,28
Impureza Vegetal	% base mássica	5,66	10,89	17,37

Tabela 9: Caracterização da biomassa existente no campo

Matéria disponível (t/ha) (bu)	
Biomassa disponível no campo	
Colmo	112,25
Folha Seca	9,26
Folhas Verdes	9,78
Ponteiros	7,31
Total	138,60

Através da relação entre a biomassa recolhida (% de palha x densidade) e palhiço existente no campo, para respeitar o limite agrônômico (manter 65% do palhiço mantidas sobre o solo indicado por MANECHINI et al. (2005)), tem-se que o máximo de palha contida na biomassa de entrada é de 5,26% (Fig.33).

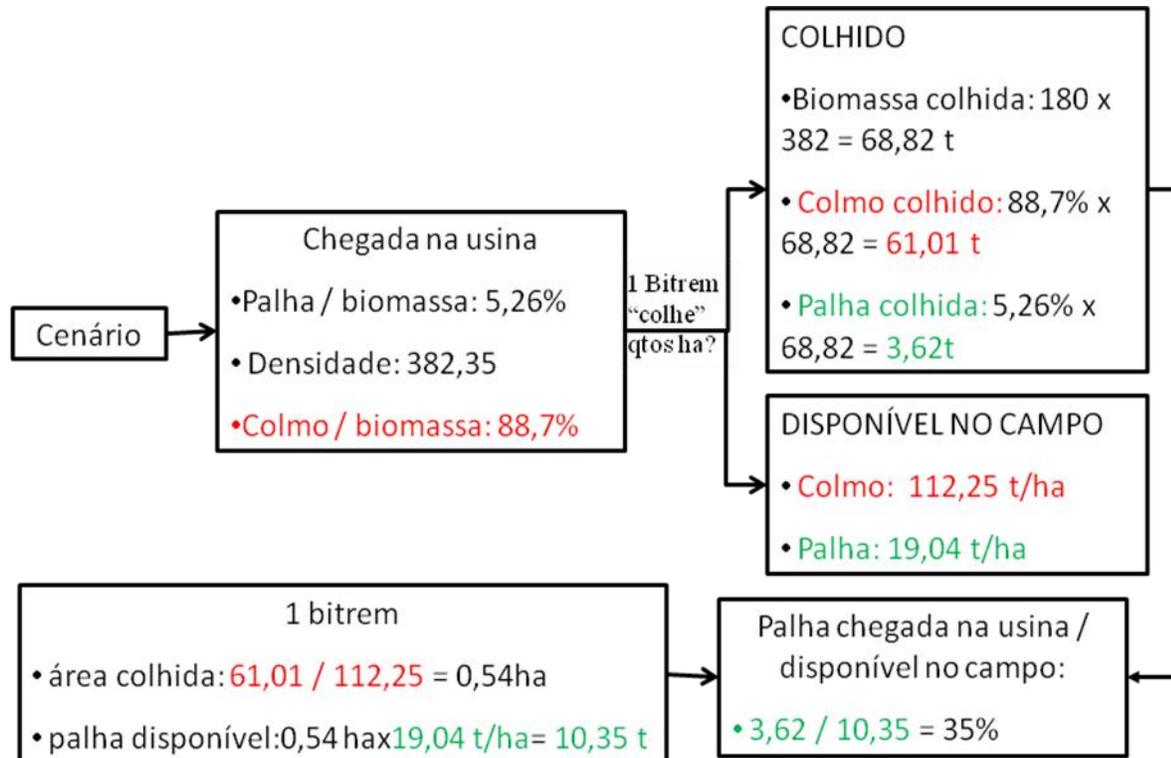


Figura 33: Limite de recebimento da palha na usina respeitando o limite agrônômico

$$\frac{PR(t)}{BEU(t)} = 5,26\%$$

$$\rho(kg / m^3) = 382,35 \text{ (através das equações indicada na Figura 35)}$$

$$\frac{CR(t)}{BEU(t)} = 88,7\% \text{ (através das equações indicada na Figura 35)}$$

$$V(m^3) = 180$$

$$BTC1b(t) = \frac{180 \times 382,35}{1000} = 68,82$$

$$CC1b(t) = 68,82 \times 88,7\% = 61,01$$

$$PC1b(t) = 68,82 \times 5,26\% = 3,62$$

$$PD1b(t) = \frac{CC1b(t)}{CD(t/ha)} \times PD(t/ha) = \frac{61,01(t)}{112,25(t/ha)} = 0,54ha \times 19,04(t/ha) = 10,35$$

$$\frac{PC1b(t)}{PD1b(t)} = \frac{3,62}{10,35} = 35\% \rightarrow \text{Manter 65\% do palhiço no campo}$$

Sendo:

PR (t): palha recolhida

BEU (t) = biomassa de entrada na usina

ρ (kg/m³) = densidade da carga transportada [f (5,26% de palha)]

CR (t) = colmo recolhido [f (5,26% de palha)]

V (m³) = volume de referência de um bi tren com 2 caixas

BTC1b (t) = biomassa total colhida para um volume de referência 1 bi-tren

CC1bt (t) = colmo colhido para um volume de referência 1 bi-tren

PC1bt (t) = palha colhida para um volume de referência 1 bi-tren

PD1bt (t) = palha disponível para um volume de referência 1 bi-tren

PD (t/ha) = palha disponível em 1 ha (Tabela 9)

Tabela 10: Manutenção de 65% do palhiço no campo convertido em t/ha.

Biomassa disponível no campo	Matéria disponível (t/ha) (bu)	Umidade (%)	Base seca (%)	Matéria disponível (t/ha) (bs)	Matéria deixada no campo-efeito herbicida (t/ha) (B.S)
Colmo	112,25				
Palhas	9,26	13%	87%	8,06	5,24
Folhas Verdes	9,78	65%	35%	3,39	2,20
Ponteiros	7,31	78%	22%	1,64	1,06
Total	138,60			13,09	8,51

Para os dados utilizados como referência bibliográfica, manter 65% do palhiço no campo resulta em 8,51 t/ha (B.S), superior aos 7,5 t/ha citados como necessários por MANECHINI et al. (2005).

Através da relação entre PC1bt (t) e PD1bt (t), se recolhesse 100% da palha disponível no campo, 13,46% da biomassa de entrada da usina seria constituída de palha (folha seca + folha verde).

A Figura 34 apresenta o gráfico da caracterização da biomassa de entrada da usina em função da palha contida, além da indicação da quantidade de palha para 3 limites: cenário atual em condições normais de colheita mecanizada (1,56% base mássica de palha contida na biomassa de entrada); cenário máximo respeitando o limite agrônômico (5,26% base mássica de palha contida na biomassa de entrada); cenário considerando o máximo de 100% da palha disponível no campo (13,46% base mássica de palha contida na biomassa de entrada).

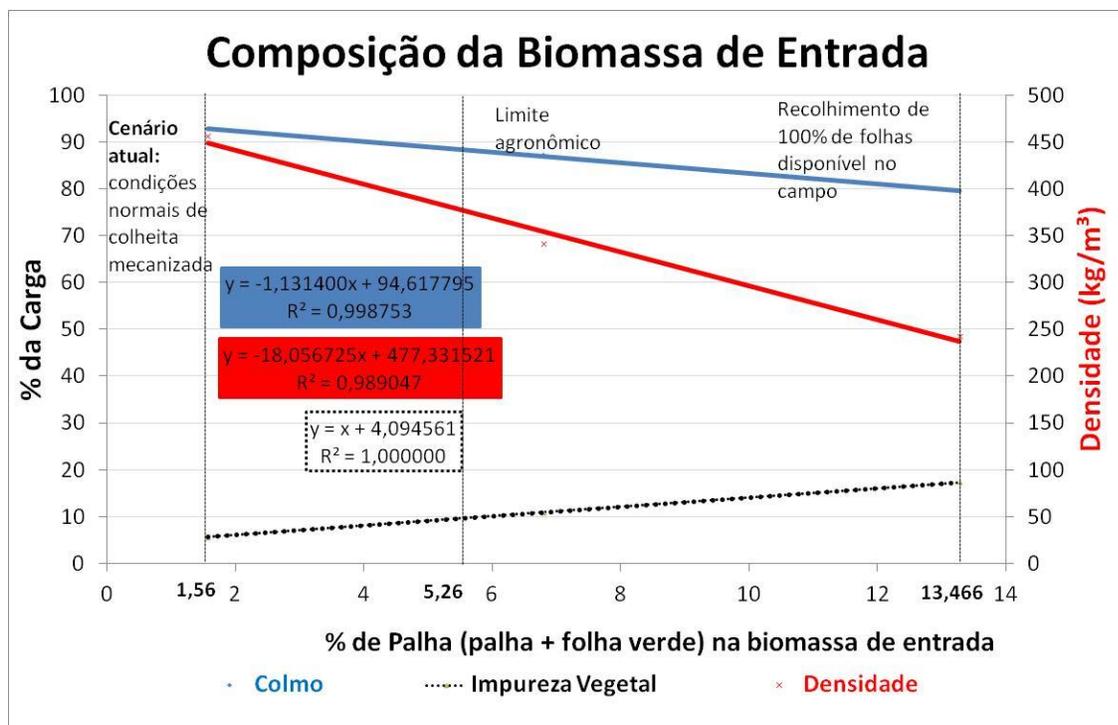


Figura 34: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada.

Obs: Impureza vegetal (matéria estranha de origem vegetal): folha seca, folha verde, ponteiro, restos de cultura como soqueira arrancadas).

Vale ressaltar que o menor cenário de simulação (condições atuais) contém 1,56% base mássica de palha contida na biomassa de entrada, o que equivale a 5,7% base mássica de impureza vegetal.

Tabela 11: Relação entre palha contida na biomassa de entrada x palha disponível no campo

Cenários (2.000.000 TB/safra em condições normais de colheita mecanizada)	Palha / biomassa de entrada na usina (%m/m B.U)	Palha colhidas / Palha disponíveis no campo (%m/m B.U)	Palha disponíveis no campo / Biomassa disponível no campo (%m/m B.U)
Limpeza de 100% da palha	0%	0%	13,74%
Condições normais de colheita mecanizada	1,56%	10,00%	-
Limite agrônômico	5,26%	35%	-
Limite técnico do recebimento da usina	7%	48%	-
Recolhendo 100% da palha do campo	13,466%	100%	0%

A Tabela 12 apresenta o aumento da biomassa de entrada na usina em função do aumento da quantidade de palha na biomassa de entrada, a fim de manter constante a quantidade de colmo e consequentemente as receitas de açúcar e etanol.

Tabela 12: Aumento da entrada de biomassa na usina para manter a massa de colmo constante

Capacidade da planta em condições normais de colheita (rota: colheita mecanizada) (t/safra)	Palha / Biomassa de Entrada da Usina (% em massa)	Colmo na Biomassa de Entrada (%em massa-aprox.)	Entrada de biomassa por safra (t/safra)	Entrada de colmo por safra (t/safra)
2.000.000	1,565	92,8	2.000.000	1.856.943,08
2.000.000	2	92,4	2.010.658	1.856.943,08
2.000.000	3	91,2	2.035.595	1.856.943,08
2.000.000	4	90,1	2.061.159	1.856.943,08
2.000.000	5	89,0	2.087.372	1.856.943,08
2.000.000	5,26	88,7	2.094.298	1.856.943,08
2.000.000	6	87,8	2.114.261	1.856.943,08
2.000.000	7	86,7	2.141.852	1.856.943,08
2.000.000	8	85,6	2.170.173	1.856.943,08
2.000.000	9	84,4	2.199.252	1.856.943,08
2.000.000	10	83,3	2.229.122	1.856.943,08
2.000.000	11	82,2	2.259.814	1.856.943,08
2.000.000	12	81,0	2.291.363	1.856.943,08
2.000.000	13	79,9	2.323.805	1.856.943,08
2.000.000	13,466	79,4	2.339.239	1.856.943,08

A relação entre a massa de biomassa necessária para manter a produção de açúcar e etanol constante, o tempo fixo de tombamento de uma caixa de rodotrem e a densidade da carga que chega à usina, trouxe através do modelo computacional, qual o máximo de palha que pode estar contido na carga do rodotrem, sem que seja prejudicada a vazão de alimentação de uma mesa alimentadora, como mostra o exemplo.

$$VAM1m\left(\frac{t}{hora.mesa}\right) = DCT \frac{kg}{m^3} \times V_{pcr} \frac{m^3}{caixa.mesa} \times \frac{1t}{1000kg} = MT \frac{t}{caixa.mesa} \times TFD1c \frac{min}{caixa} \times \frac{1hora}{60min}$$

Sendo:

VAM1m (t/hora.mesa) = vazão de alimentação máxima de 1 mesa

DCT (kg/m³) = densidade da carga transportada

V_{pcr} (m³) = volume por caixa de rodotrem

MT (t/caixa.mesa) = massa tombada por caixa do rodotrem

TFD1c (min) = tempo fixo de descarga de 1 caixa de rodotrem

Ex: para palha contida na biomassa de entrada = 2%,

$$VAM1m\left(\frac{t}{hora.mesa}\right) = 441,22 \frac{kg}{m^3} \times 90 \frac{m^3}{caixa.mesa} \times \frac{1t}{1000kg} = 39,71 \frac{t}{caixa.mesa} \times 4 \frac{min}{caixa} = 596 \frac{t}{hora.mesa}$$

Já a necessidade de entrada de biomassa em uma mesa (NEB1m) para o cenário de 2% de palha,

$$NEB1m\left(\frac{t}{hora.mesa}\right) = 2.010.658 \frac{t}{safra} \times \frac{safra}{200dias} \times \frac{dia}{24horas} = 419 \frac{t}{hora}$$

Portanto, como a vazão de alimentação mássica máxima de 1 mesa é maior que a vazão de alimentação necessária para manter a quantidade de colmo constante, a usina consegue receber 2% de palha com um sistema de alimentação (01 mesa + 01 hillo).

Tabela 13: Relação entre a vazão mássica de alimentação necessária, para um tempo de tombamento de 4 min, caixa de 90m³ e um período fixo da safra de 200 dias úteis (com 24h)

Palha / Biomassa de Entrada da Usina (% em massa)	Colmo na Biomassa de Entrada (%em massa-aprox.)	Densidade da carga transportada (kg/m ³)	Entrada de biomassa por safra (t/safra)	Tempo FIXO de descarga de uma caixa (min/caixa)	Vazão de alimentação máxima de 1 Mesa (t/hora.mesa)	Entrada de biomassa por hora (PARA 1 MESA) (t/hora)
1,565	92,8	449,07	2.000.000	4,00	600	417
2	92,4	441,22	2.010.658	4,00	596	419
3	91,2	423,16	2.035.595	4,00	571	424
4	90,1	405,10	2.061.159	4,00	547	429
5	89,0	387,05	2.087.372	4,00	523	435
5,26	88,7	382,35	2.094.298	4,00	516	436
6	87,8	368,99	2.114.261	4,00	498	440
7	86,7	350,93	2.141.852	4,00	474	446
8	85,6	332,88	2.170.173	4,00	449	452
9	84,4	314,82	2.199.252	4,00	425	458
10	83,3	296,76	2.229.122	4,00	401	464
11	82,2	278,71	2.259.814	4,00	376	471
12	81,0	260,65	2.291.363	4,00	352	477
13	79,9	242,59	2.323.805	4,00	328	484
13,466	79,4	234,18	2.339.239	4,00	316	487

A Tabela 13 mostra que o máximo de palha contida na biomassa de entrada que a usina é capaz de receber considerando uma única mesa alimentadora e 01 hillo é de 7% (base mássica).

Tabela 14: Teste de capacidade de equipamento de extração suportar o adicional de palhiço que chega a usina e não é separado pelo sistema de limpeza, para 7% de entrada de palha. Premissas: sistema de limpeza age sob palha e impureza mineral solta (terra solta) existente na biomassa de entrada

Capacidade da planta em condições normais de colheita (rota: colheita mecanizada)	ton/safra	2.000.000
Palha (folhas verde + seca) / Biomassa de Entrada da Usina	% mássica	7,00
Eficiência do sistema de limpeza (base: total de ventiláveis de entrada: terra solta + palha)	%	70
Impureza Vegetal na Biomassa de Entrada	% mássica-aprox.	11,09
Colmo na Biomassa de Entrada	% mássica-aprox.	86,7
Terra Solta na Biomassa de Entrada	% mássica-aprox.	2,2
Entrada de biomassa	t/safra	2.141.852
Entrada de palha	t/safra	149.930
Entrada de terra solta	t/safra	47.280
Entrada de biomassa	t/hora	446
Entrada de palha	t/hora	31,2
Entrada de terra solta	t/hora	9,9
Terra solta retirada pelo sistema de limpeza	t/hora	6,9
Palha retirada pelo sistema de limpeza (enviada à caldeira por via seca)	t/hora	21,9
Palha enviada para extração	t/hora	9,4
Biomassa a ser processada para a Extração com moenda e sistema de limpeza	t/hora	417

Portanto, verificou-se que a capacidade do sistema de extração é capaz de suportar a biomassa adicional que chegará a usina já que a capacidade instalada da usina é frequentemente superior a 600 t/h.

Já a quantidade de palha, impurezas vegetais e impurezas minerais separadas pelo sistema de limpeza a seco que serão processadas e enviadas ao sistema de cogeração de energia no cenário de 7% de entrada de palha é de 28,8 t/h (21,9 + 6,9).

Tabela 15: Teste de capacidade de equipamento de extração suportar o adicional de palhiço que chega a usina e não é separado pelo sistema de limpeza, para qualquer % de entrada de palha

Palha / Biomassa de Entrada da Usina (% em massa)	Entrada de biomassa (t/hora)	Entrada de colmo (t/hora)	Entrada de palha (t/hora)	Entrada de terra solta (t/hora)	Palha retirada pelo sistema de limpeza (enviada à caldeira por via seca) (t/hora)	Terra solta retirada pelo sistema de limpeza (t/hora)	Biomassa a ser processada para a Extração por Moenda (t/hora)	Palha enviada para extração (t/hora)
1,565	417	387	6,5	6,2	4,6	4,4	408	2,0
2	419	387	8,4	6,5	5,9	4,5	408	2,5
3	424	387	12,7	7,1	8,9	5,0	410	3,8
4	429	387	17,2	7,8	12,0	5,5	412	5,2
5	435	387	21,7	8,5	15,2	5,9	414	6,5
5,26	436	387	23,0	8,6	16,1	6,0	414	6,9
6	440	387	26,4	9,1	18,5	6,4	416	7,9
7	446	387	31,2	9,9	21,9	6,9	417	9,4
8	452	387	36,2	10,6	25,3	7,4	419	10,9
9	458	387	41,2	11,3	28,9	7,9	421	12,4
10	464	387	46,4	12,1	32,5	8,5	423	13,9
11	471	387	51,8	12,9	36,3	9,0	426	15,5
12	477	387	57,3	13,7	40,1	9,6	428	17,2
13	484	387	62,9	14,5	44,1	10,2	430	18,9
13,466	487	387	65,6	14,9	45,9	10,4	431	19,7

Tabela 16: Balanço de massa completo para capacidade da planta em condições normais de colheita mecanizada de 2.000.000 t biomassa / safra

Palha recolhida do campo / Palha disponíveis no campo (%aprox.)	Palha / Biomassa de Entrada da Usina (% em massa)	Impureza Vegetal na Biomassa de Entrada (%em massa-aprox.)	Colmo na Biomassa de Entrada (%em massa-aprox.)	Terra Solta na Biomassa de Entrada (%em massa-aprox.)	Densidade da carga transportada (kg/m ³)	Entrada de biomassa (t/safra)	Tempo FIXO de descarga de uma caixa (min/caixa)	Vazão de alimentação máxima de 1 Mesa (ton/hora.mesa)	Entrada de biomassa (t/hora)	Entrada de colmo (t/hora)	Entrada de palha (t/hora)	Entrada de terra solta (t/hora)	Palha retirada pelo sistema de limpeza (enviada à caldeira por via seca) (t/hora)	Terra solta retirada pelo sistema de limpeza (t/hora)	Biomassa a ser processada para a Extração por Moenda e com sistema de limpeza (t/hora)	Palha enviada para extração (t/hora)	Mesa alimentada/Hillo/Sistema de Limpeza (quantidade)
10	1,565	5,7	92,8	1,5	449,07	2.000.000	4,00	600	417	387	6,5	6,2	4,6	4,4	408	2,0	1/1/1
13	2	6,1	92,4	1,6	441,22	2.010.658	4,00	596	419	387	8,4	6,5	5,9	4,5	408	2,5	1/1/1
19	3	7,1	91,2	1,7	423,16	2.035.595	4,00	571	424	387	12,7	7,1	8,9	5,0	410	3,8	1/1/1
26	4	8,1	90,1	1,8	405,10	2.061.159	4,00	547	429	387	17,2	7,8	12,0	5,5	412	5,2	1/1/1
33	5	9,1	89,0	1,9	387,05	2.087.372	4,00	523	435	387	21,7	8,5	15,2	5,9	414	6,5	1/1/1
35	5,26	9,4	88,7	2,0	382,35	2.094.298	4,00	516	436	387	23,0	8,6	16,1	6,0	414	6,9	1/1/1
40	6	10,1	87,8	2,1	368,99	2.114.261	4,00	498	440	387	26,4	9,1	18,5	6,4	416	7,9	1/1/1
48	7	11,1	86,7	2,2	350,93	2.141.852	4,00	474	446	387	31,2	9,9	21,9	6,9	417	9,4	1/1/1
55	8	12,1	85,6	2,3	332,88	2.170.173	4,00	449	452	387	36,2	10,6	25,3	7,4	419	10,9	2/2/2
63	9	13,1	84,4	2,5	314,82	2.199.252	4,00	425	458	387	41,2	11,3	28,9	7,9	421	12,4	2/2/2
71	10	14,1	83,3	2,6	296,76	2.229.122	4,00	401	464	387	46,4	12,1	32,5	8,5	423	13,9	2/2/2
79	11	15,1	82,2	2,7	278,71	2.259.814	4,00	376	471	387	51,8	12,9	36,3	9,0	426	15,5	2/2/2
87	12	16,1	81,0	2,9	260,65	2.291.363	4,00	352	477	387	57,3	13,7	40,1	9,6	428	17,2	2/2/2
96	13	17,1	79,9	3,0	242,59	2.323.805	4,00	328	484	387	62,9	14,5	44,1	10,2	430	18,9	2/2/2
100	13,466	17,6	79,4	3,1	234,18	2.339.239	4,00	316	487	387	65,6	14,9	45,9	10,4	431	19,7	2/2/2

A Figura 35 apresenta os limites que devem ser levado em consideração para determinação dos cenários de análise de viabilidade.

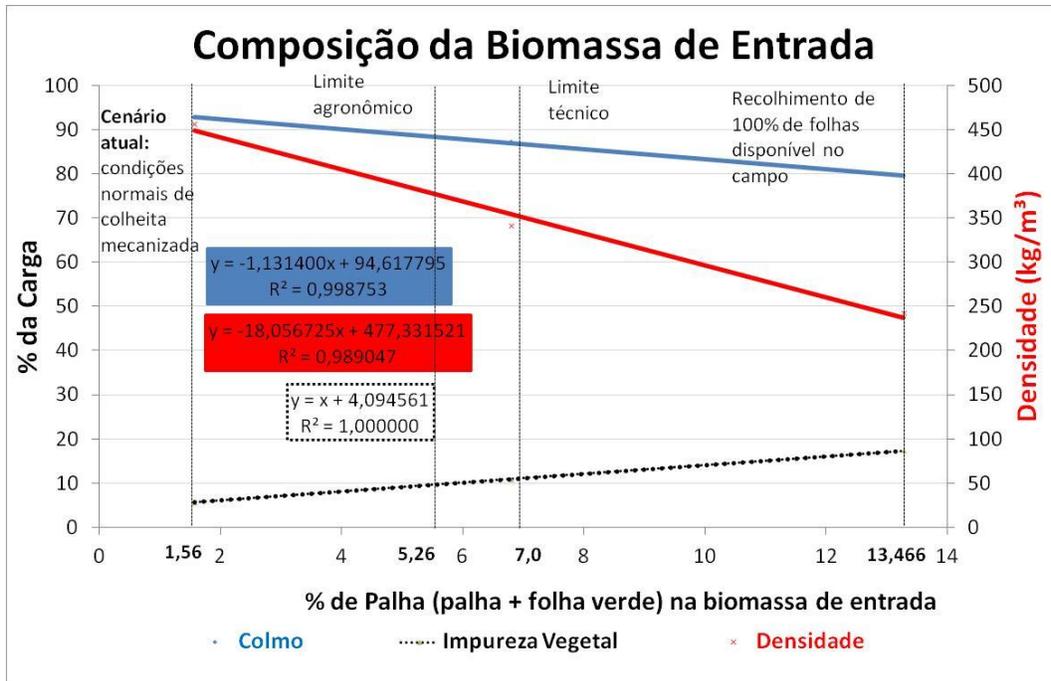


Figura 35: Relação entre a composição da biomassa de entrada na usina e a densidade da carga transportada – cenários possíveis

Obs: Impureza vegetal (matéria estranha de origem vegetal): folha seca, folha verde, ponteiro, restos de cultura como soqueira arrancadas).

5.2 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: COLHEITA INTEGRAL TRADICIONAL

5.2.1 – INVESTIMENTO INDUSTRIAL

As Tabelas 17 a 19 apresentam as estimativas de investimento industrial.

Tabela 17: Investimento nos equipamentos do sistema de limpeza (sem picadores)

Equipamentos Sistema de Limpeza Simples	Preço de venda com impostos (R\$)	% do equipamentos do sistema de limpeza simples
Sistema de limpeza Ventiladores + Estrutura + Câmara de despressurização + Câmara de limpeza + Moega para retirada de Impureza Mineral	1.195.851,13	19%
Esteiras com acionamentos (370m)	4.296.522,27	67%
Peneira	601.800,00	9%
Materiais Elétricos (CCM + Materiais) - Sistema de limpeza+esteiras+peneira	273.100,43	4%
Sub-Total Equipamentos Sistema de Limpeza Simples	6.367.273,83	100%

Tabela 18: Investimento total no sistema de limpeza (com picadores)

Investimento Industrial	Preço de venda com impostos(R\$)
Equipamentos do Sistema de Limpeza Sem Picadores	R\$ 6.367.273,83
Montagens / Frete e Seguro do Sistema de Limpeza Sem Picadores	R\$ 764.579,41
Automação do Sistema de Limpeza	R\$ 105.465,00
Supervisão de Montagem/Posta em Marcha para Sistema de Limpeza Sem Picadores	R\$ 221.777,26
Investimento Industrial Total do Sistema de Limpeza SEM Picadores	R\$ 7.459.095,50
Equipamentos Picadores (2 unidades com afiador de facas)	R\$ 1.460.011,09
Montagens / Frete e Seguro dos Picadores	R\$ 355.201,94
Automação do Picador	R\$ 47.938,64
Supervisão de Montagem/Posta em Marcha dos Picadores	R\$ 34.504,96
Investimento Industrial Total dos Picadores	R\$ 1.897.656,63
Equipamentos do Sistema de Limpeza Com Picadores	R\$ 7.827.284,92
Montagens / Frete e Seguro do Sistema de Limpeza Com Picadores	R\$ 1.119.781,35
Automação do Sistema de Limpeza	R\$ 153.403,64
Supervisão de Montagem/Posta em Marcha para Sistema de Limpeza Com Picadores	R\$ 256.282,22
Investimento Industrial Total do Sistema de Limpeza COM Picadores	R\$ 9.356.752,13

Tabela 19: Composição do investimento total no sistema de limpeza

Equipamentos do Sistema de Limpeza Com Picadores	83,7%
Montagens / Frete e Seguro do Sistema de Limpeza Com Picadores	12,0%
Automação	1,6%
Supervisão de Montagem/Posta em Marcha para Sistema de Limpeza Com Picadores	2,7%
Investimento Industrial Total do Sistema de Limpeza COM Picadores	100%

Em se tratando de equipamentos, um sistema de limpeza simples (sem picador), apresenta 67% do seu valor em esteiras transportadoras (Tabela 17).

A estimativa de investimento industrial total em um sistema com picadores é de cerca de 9,35 milhões de reais, enquanto que em um sistema sem picadores é de aproximadamente 7,45 milhões de reais, ou seja, o investimento industrial em picadores onera bastante o investimento industrial (~1,9 milhões). Isto porque a necessidade de manutenção frequente dos picadores, se torna necessário montar um sistema de 2 equipamentos em paralelo.

5.2.2 – INVESTIMENTO AGRÍCOLA

De acordo com o modelo aplicado, o aumento de palha no cenário impacta em uma maior necessidade de rodotrem já que é necessária uma maior quantidade de biomassa de entrada para manter a entrada de colmos além de ocorrer uma redução significativa da densidade de transportada. A Tabela 20 mostra que para um raio de 12 km e um o cenário com 3% de palha, é necessário um investimento em rodotrem de 960 mil R\$ enquanto que para o cenário de 5,26% de palha, o investimento sobe para 1,92 milhões de R\$.

Para um mesmo cenário de quantidade de palha contida na biomassa de entrada, a necessidade de rodotrens também cresce em função do aumento da distância entre lavoura usina. Isto porque o tempo de ciclo de uma unidade aumenta, diminuindo a quantidade de viagens que cada unidade pode fazer por safra (Tabela 21).

Tabela 20: Investimento em rodotrem (para raio de 12 km)

		Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Planta nominal	t/safra	2.000.000	2.000.000	2.000.000
Entrada de biomassa por safra (dado real)	t / safra	2000000	2.035.595	2.094.298
Densidade da carga	kg/m ³	449	423	382
Volume necessário p/ transportar a biomassa de entrada (m ³)	m ³ / Safra	4453621	4.810.447	5.477.391
Aumento de Volume p/ transportar a biomassa de entrada comparado a 1,5% de palha	m ³ / Safra	0	356.825	1.023.769
Rodotrem				
Tempo gasto por rodotrem (pátio e campo)	min	50		
Tempo útil por rodotrem em um 1 dia de operação	horas	21		
V média	km/h	25		
Tempo de ciclo	horas	1,793		
Viagens de rodotrem por dia	viagens/dia	11		
Viagens de rodotrem por safra (para raio de 12 km)	viagens/safra	2200		
Unidades de transporte a mais com duas caixas de 90m ³ (dado particionado)		-	1,20	3,45
Unidades de transporte a mais com duas caixas (arredondado)		-	2	4
Caixas a mais	num	-	4	8
Cavalos a mais	num	-	1	2
Colaboradores adicionais para transporte	num / turno	-	1	2
Rodotrem				
Cavalo	R\$ 400.000			
Caixa - 90m ³	R\$ 140.000			
Investimento em Rodotrens		R\$ -	960.000,00	1.920.000,00

Tabela 21: Investimento em rodotrem (variando o raio)

		Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Rodotrem				
Tempo gasto por rodotrem (pátio e campo)	min	50		
Tempo útil por rodotrem em um 1 dia de operação	horas	21		
V média	km/h	25		
Tempo de ciclo	horas	3,233		
Viagens de rodotrem por dia	viagens/dia	6		
Viagens de rodotrem por safra (para raio de 12 km)	viagens/safra	1200		
Unidades de transporte a mais com duas caixas de 90m ³ (dado particionado)		-	2,20	6,32
Unidades de transporte a mais com duas caixas (arredondado)			3	7

Em se tratando o investimento em transbordo, o cenário com 3% de palha requer um investimento em transbordo na ordem de 600 mil R\$, enquanto que o cenário com 5,26% de palha, o investimento sobe para 1,2 milhões de R\$ (Tabela 22). Isto porque com o aumento de palha, uma maior quantidade de biomassa precisa ser colhida para manter a quantidade de colmo constante, e o transbordo cai a sua produtividade em horas trabalhadas por quantidade de biomassa colhida (enche mais rápido). Porém, este investimento não varia em função da distância lavoura-usina já que a operação de transbordo basicamente consiste em ir da cabeceira do talhão até a colhedora, acompanhar a colheita ate encher, manobrar no final do tiro de colheita e transbordar no rodotrem, não variando em função do raio.

Tabela 22: Investimento em transbordo

		Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Porcentagem de colmo na Biomassa	%	93	91	89
Produtividade a ser colhida	t biomassa/ ha	100	102	105
Produtividade a ser colhida	t colmo / ha	93	93	93
1 há (espaçamento entre linhas de 1,5m)	m/ha	6.667	6.667	6.667
Produtividade a ser colhida	t biomassa / m	0,0150	0,0152	0,0157
Ton colhidas por tiro	t biomassa / tiro	4,500	4,580	4,712
Tiro de colheita	m / tiro	300	300	300
Veloc colheita	m/ h	4.000	4.000	4.000
Tempo perc por tiro	h/ tiro	0,0750	0,0750	0,0750
Tempo percor por ton	h/ t biomassa	0,0167	0,0164	0,0159
Tempo de manobra	h / tiro	0,0333	0,0333	0,0333
Tempo manob por ton	h/ t biomassa	0,0074	0,0073	0,0071
Tempo percorrido para colheita+manobra	h/ t biomassa	0,0241	0,0237	0,0230
Efic mecânica	%	0,80	0,80	0,80
Hora por ton final	h/ t biomassa	0,03	0,03	0,03
Ton por hora final	t biomassa / h	33,23	33,82	34,80
Horas por dia	h/ dia	24,00	24,00	24,00
Aproveit jornada	%	0,58	0,58	0,58
Ton por dia por mq (necessidade de cada cenário)	t biomassa / colhed. dia	462,57	470,80	484,38
Capacidade transbordo	m³/caixa	32,00	32,00	32,00
Densidade da carga	kg/m ³	449,07	423,16	382,35
Capacidade do transbordo nominal	t biomassa / caixa	14,37	13,54	12,24
Capacidade do transbordo nominal	t colmo / caixa	13,34	12,35	10,85
Aproveit v caixa	%	0,75	0,75	0,75
Capacidade do transbordo efetivo	t biomassa / caixa	10,78	10,16	9,18
Capacidade do transbordo efetivo	t colmo / caixa	10,01	9,26	8,14
Percurso ao lado da colhedora necessário para enxer uma caixa de transbordo	m/ caixa	718,52	665,22	584,22

Tabela (cont.): Investimento em transbordo

		Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Tempo de colheita necessário para enxer uma caixa de transbordo	h / caixa	0,18	0,17	0,15
Tiros da colhedora para completar uma caixa de transbordo	num tiros / caixa	2,40	2,22	1,95
Tempo manobra por caixa (4 min de manobra a cada tiro)	h / caixa	0,16	0,15	0,13
Percurso ida vazio do transbordo	m / caixa	1.000	1.000	1.000
Veloc vazio	m/ h	20.000	20.000	20.000
Percurso volta cheio	m / caixa	1.000	1.000	1.000
Veloc cheio	m/ h	15.000	15.000	15.000
Tempo translado	h / caixa	0,12	0,12	0,12
Tempo por viag do transbordo	h / caixa	0,28	0,26	0,25
Tempo transbordagem (5 min)	h / caixa	0,08	0,08	0,08
Tempo total do transbordo	h / caixa	0,54	0,51	0,48
Tempo necessario para a operação de transbordo por ton biomassa (para cada caixa de transbordo)	h/ t biomassa	0,0500	0,0506	0,0519
Ton de biomassa transbordada por hora (para cada caixa de transbordo)	t biomassa / h	19,98	19,75	19,28
Jornada	h/dia	13,92	14	14
Ton por dia (para cada caixa do transbordo)	t biomassa / transbordo.dia	278,19	274,97	268,42
<i>Produção de 1 colhedoras por dia</i>	<i>t biomassa / colhedora dia</i>	<i>462,57</i>	<i>470,80</i>	<i>484,38</i>
<i>Necessidade transbordo/colhedora</i>	<i>eqpto/máq</i>	<i>1,66</i>	<i>1,71</i>	<i>1,80</i>
Entrada de biomassa por safra (dado real)	t / safra	2.000.000	2.035.595	2.094.298
Colhedoras necessárias	colhedoras / safra	21,62	21,62	21,62
Número de transbordos necessários	transbordos / safra	35,95	37,02	39,01
Aumento do número de transbordos comparado com 1,5% de palha		-	1,07	3,06
Transbordos a mais com duas caixas (arredondar)		-	2,00	4,00
Colaboradores adicionais para transbordo	num / turno	-	2,00	4,00
Preço - conjunto transbordo + caminhão	R\$ 299.798			
Investimento em Transbordos		-	599.596,00	1.199.192,00

5.2.3 – RECEITA BRUTA

A Tabela 23 mostra que o cenário com 5,26% de palha contida na biomassa de entrada gera 17,7MW de energia devido ao palhiço, ou seja, 12,7 MW adicionais ao cenário inicial com 1,56% de palha e sem sistema de limpeza. Este número é expressivo frente à quantidade de energia gerada pelo bagaço (~42 MW). O adicional de energia correspondente ao cenário de 5,26% de palha, ao longo de uma safra gera uma receita de 12 milhões de R\$ (considerando uma o preço da cogeração de energia em 140 R\$/MWh), ou seja, um adicional de ~8,5 milhões de R\$ por safra.

Tabela 23: Receita cogeração de energia

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
PREMISSAS - COGERAÇÃO DE ENERGIA					
Caldeira 67 kgf/cm ² a 480°C					
Entalpia do vapor	kcal / kg de vapor	745,24	745,24	745,24	745,24
Eficiência da caldeira	%	89,00	89,00	89,00	89,00
Consumo Específico da turbina de condensação	kg vapor / kWh	4,17	4,17	4,17	4,17
Consumo específico turbina contra-pressão	kg Vapor / kWh	5,60	5,60	5,60	5,60
Fonte: Tabela de vapor e Dedini					
Entrada de Palha	t / safra	31.300,00	31.300,00	61.067,85	110.160,05
Palha Separada pelo SL que chega à caldeira	t / safra	-	21.910,00	42.747,50	77.112,04
Umidade da Palha (verde +seca) Separada pelo SL e enviada à caldeira	%	32,27	32,27	32,27	32,27
PCU da palha separada pelo SL e enviada à caldeira	kcal / kg palha B.U	2.697,75	2.697,75	2.697,75	2.697,75
Fonte: RIPOLI et. al (1990 b) e Ripoli (1991) adaptado					
Palha enviada juntamente com o colmo	t / safra	31.300,00	9.390,00	18.320,36	33.048,02
Umidade inicial da palha não separadas pela SL	%	32,27	32,27	32,27	32,27
Umidade final das palha não separadas pelo SL	%	49,87	49,87	49,87	49,87
PCU da Palha enviada juntamente com o colmo	kcal / kg palha B.U	1.986,89	1.986,89	1.986,89	1.986,89
Porcentagem de Bagaço no colmo com umidade de 50%	%	25,00	25,00	25,00	25,00
Massa de Bagaço por Safra	t / safra	464.235,77	464.235,77	464.235,77	464.235,77
Umidade do Bagaço	%	49,87	49,87	49,87	49,87
PCU do Bagaço	kcal / kg combustível B.U	1.925,60	1.925,60	1.925,60	1.925,60
Fonte: RIPOLI et. al (1990 b) e Ripoli (1991) adaptado; HUGOT (1969)					
Preço de venda - cogeração	R\$ / MWh	140,00	140,00	140,00	140,00
PALHA SEPARADA PELO SL QUE CHEGA À CALDEIRA					
Calor Gerado na Caldeira	kcal / safra	-	59.107.805.477,00	115.322.264.328,38	208.029.356.903,26
Vapor Gerado pela Caldeira	kg vapor / safra	-	70.589.341,57	137.723.311,53	248.438.513,55

Tabela (cont.): Receita cogeração de energia

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / safra	-	70.589,34	137.723,31	248.438,51
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / hora	-	14,71	28,69	51,76
Energia Elétrica Gerada	MWh / safra	-	16.941,44	33.053,59	59.625,24
Energia Elétrica Gerada	MW	-	3,53	6,89	12,42
PALHA ENVIADA COM A CANA QUE CHEGA À CALDEIRA					
Matéria Seca	t matéria seca / safra	21.199,49	6.359,85	12.408,38	22.383,42
Matéria Úmida	t matéria umida / safra	21.089,54	6.326,86	12.344,02	22.267,33
Matéria Total	t palha B.U / safra	42.289,03	12.686,71	24.752,40	44.650,75
Calor Gerado na Caldeira	kcal / safra	84.023.677.490,01	25.207.103.247,00	49.180.310.453,83	88.716.159.152,76
Vapor Gerado pela Caldeira	kg vapor / safra	100.345.056,34	30.103.516,90	58.733.456,69	105.949.040,25
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / safra	100.345,06	30.103,52	58.733,46	105.949,04
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / hora	20,91	6,27	12,24	22,07
Energia Elétrica Gerada	MWh / safra	24.082,81	7.224,84	14.096,03	25.427,77
Energia Elétrica Gerada	MW	5,02	1,51	2,94	5,30
BAGAÇO					
Calor Gerado na Caldeira	kcal / safra	893.932.398.712,00	893.932.398.712,00	893.932.398.712,00	893.932.398.712,00
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / safra	1.067.576,42	1.067.576,42	1.067.576,42	1.067.576,42
Vapor Gerado pela Caldeira	t vapor / hora	222,41	222,41	222,41	222,41
Consumo de vapor no Processo (contra-pressão)	t vapor / hora	187,50	187,50	187,50	187,50
Vapor para cogeração (condensação)	t vapor / hora	34,91	34,91	34,91	34,91
Energia Elétrica Gerada	MWh / safra	200.932,63	200.932,63	200.932,63	200.932,63
Energia Elétrica Gerada	MW	41,86	41,86	41,86	41,86
Receita - Cogeração de Palha	R\$/Safra	3.371.593,89	3.383.280,04	6.600.947,41	11.907.421,81
Receita Adicional de Cogeração de Palha	R\$ / Safra	-	11.686,15	3.229.353,52	8.535.827,91

Com relação a receita devido a perda de açúcar na palha, a Tabela 24 mostra que o cenário com 1,56% de palha sem sistema de limpeza perde 735.200 litros de etanol hidratado enquanto que colocar um sistema de limpeza para a mesma quantidade de palha contida na biomassa de entrada leva a uma perda de 220.560 litros, ou seja, uma economia de 514.640 litros de etanol hidratado. Para um etanol com preço de venda na usina de R\$1,18, implica em uma receita incremental de aproximadamente 607 mil reais (muito pequena comparada a todo investimento industrial em um sistema de limpeza com periféricos).

O cenário com 3% de palha e sistema de limpeza possui um saving de 360 mil reais comparado ao cenário com 1,56% de palha existente na biomassa de entrada. Esta receita proveniente da economia de açúcar no caldo é ainda mais inexpressiva haja vista que é necessário o investimento em equipamentos industriais e agrícolas (para se recolher uma maior quantidade de palha), além do incremento de custos industriais e agrícolas.

Por outro lado, o cenário com 5,26% de palha contida na biomassa de entrada implica em um penalt de 48 mil R\$, devido ao aumento da quantidade de folhas contidas no caldo, quando comparado ao cenário com 1,56% de palha sem estação de limpeza. (Tabela 24).

Tabela 24: Receita devido a melhor/piora da qualidade do caldo

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha				
Palha enviada juntamente com o colmo	t / safra	31.300,00	9.390,00	18.320,36	33.048,02				
Pol do bagaço	% = sacarose (g) / 100 g sol	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%				
Pol da palha	% = sacarose (g) / 100 g sol	-							
Perda de pol	%	4,00%	4,00%	4,00%	4,00%				
Eficiência de extração	%	98%	98%	98%	98%				
Eficiência para produção de etanol	%	88%	88%	88%	88%				
Perda de ART	%	3,92%	3,92%	3,92%	3,92%				
ART real	%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%				
Perda de ART real	t / safra	1.079,72	323,92	631,98	1.140,02				
Perda de ART real	kg / safra	1.079.724,80	323.917,44	631.979,01	1.140.024,34				
Massa específica Etanol 100°	kg/m³	789,30	789,30	789,30	789,30				
sacarose+água->açúcares invertidos->etanol+gás carbônico									
C12H22O11	+	H2O	→	2*C6H12O6	→	4*CH3CH2OH	+	4*CO2	
sacarose (g)		agua(g)		ART (g)		etanol 100°(g)		gás carbonico g)	
342,00		18,00		360,00		184,00		176,00	
Conversão ART em etanol	L etanol / Kg açúcar		0,6475		0,6475		0,6475		0,6475
Etanol - 100% em massa	L / safra		699.175,65		209.752,70		409.237,93		738.222,61
Hidratado	°GL		95,10		95,10		95,10		95,10
Hidratado	L / safra		735.200,48		220.560,14		430.323,79		776.259,32
Preço unitário de venda de etanol hidratado na usina	R\$/L		1,18		1,18		1,18		1,18
Receita perdida	R\$/safra		868.492,32		260.547,70		508.341,50		916.995,13
Receita Adicional de melhora do caldo	R\$ / Safra		-		607.944,63		360.150,82		(48.502,81)

Tabela 25: Receita adicional consolidada

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Receita Adicional de Cogeração de Palha	<i>R\$ / Safra</i>	-	<i>11.686,15</i>	<i>3.229.353,52</i>	<i>8.535.827,91</i>
Receita Adicional de melhora do caldo	<i>R\$ / Safra</i>	-	607.944,63	360.150,82	(48.502,81)
Receita Adicional TOTAL	<i>R\$ / Safra</i>	0	<i>619.630,78</i>	<i>3.589.504,34</i>	<i>8.487.325,11</i>

5.2.4 – CUSTOS OPERACIONAIS (OPEX)

O picador observado em funcionamento possui facas que precisam ser afiadas a cada 15 horas, aguentando 8 operações de afiação antes de serem inutilizadas. Adicionalmente, o jogo de contra-facas pode ser colocado em 4 posições diferentes durando 75 horas em cada posição. Com base nestes dados chegou-se na quantidade de horas que cada jogo de facas e contra-facas duram que são de 120 e 300 horas respectivamente. Ao se dividir a durabilidade dos jogos pelas horas de operação de uma safra de 4.800 horas (200 dias/safra x 24 horas/dia), obteve-se a quantidade necessária de jogos de faca e contra-faca por safra, ou seja, 40 jogos de faca e 16 jogos de contra-faca, o que representa R\$408.000 / safra (Tabela 26).

Tabela 26: Custo operacional dos picadores: facas e contra-facas

CUSTO FACAS E CONTRA-FACAS		
Durabilidade do jogo de facas por afiação	Horas	15,00
Durabilidade do jogo de contra-facas por posição	Horas	75,00
Nº afiações por jogo de facas	Veze	7,00
Nº de posições por jogo de contra-facas	Veze	4,00
Durabilidade facas	Horas	120,00
Durabilidade contra-facas	Horas	300,00
Safra	horas/safra	4.800,00
Facas por safra	jogos / safra	40,00
Contra-facas por safra	jogos / safra	16,00
Custo jogo de facas	R\$ / jogo	9.000,00
Custo jogo de contra-facas	R\$ / jogo	3.000,00
Gasto com jogo de facas	R\$/safra	360.000,00
Gasto com jogo de contra-facas	R\$/safra	48.000,00
Gasto com jogos de faca e contra-facas	R\$/safra	408.000,00

Outro fato importante observado foi o grande tempo parado do picador para a troca de facas e contra-facas (aproximadamente 3 horas para o jogo de facas e 3 horas para o jogo de contra-facas). Com isto, ao longo de uma safra. O equipamento fica 1.032 horas parado, ou seja, 22% do tempo útil de safra. Com isso se torna necessário um sistema com 2 picadores em paralelo, onde cada um funciona independente e está sempre pronto para ser ligado quando um picador estiver na operação de troca de facas e contra-facas.

O picador é um equipamento que possui uma grande potência instalada (2 motores de 250 hp por picador), o que faz com que se consuma grande quantidade de energia elétrica na sua operação. Além disso, o afiadador de facas também consome energia elétrica.

O somatório desta energia elétrica multiplicada pelo preço de cogeração de energia resulta em mais de R\$225.000 / safra (Tabela 27).

Tabela 27: Custo operacional dos picadores: energia elétrica

ENERGIA ELÉTRICA		
Safra	horas/safra	4.800,00
Picador		
Potência consumida por picador	cv	500,00
Nº de picadores instalados (em paralelo)	nº	2,00
Fator de conversão de potência	Potencia instalada / consumida	0,90
Potência consumida na operação "Picar"	cv horas/safra	2.160.000,00
Potência consumida na operação "Picar"	MWh/safra	1.610,71
Preço de venda - cogeração	R\$ / MWh	140,00
Custo Energia Elétrica na para "Picar"	R\$/safra	225.499,64
Afiador de Facas		
Potência instalada do afiador de facas	cv	3,00
Nº de afiadores de facas	nº	1,00
Potência consumida na operação "Afiar facas"	cv	2,70
Nº afiações por jogo de facas	vezes	7,00
Facas por safra	jogos / safra	40,00
Nº de afiações de jogos de faca	vezes / safra	280,00
Tempo gasto para afiar cada faca	min	90,00
Nº de facas por jogo	nº	8,00
Tempo de operação	horas/safra	3.360,00
Potência consumida na operação "Afiar facas"	cv horas/safra	9.072,00
Potência consumida na operação "Afiar facas"	MW/safra	6,76
Custo Energia Elétrica para "Afiar facas"	R\$ / safra	947,10

O picador também exige 4 pessoas por turno, o que com encargos gera um custo de aproximadamente R\$270.000 / safra (Tabela 28).

Tabela 28: Custo operacional dos picadores: mão – de - obra

MÃO-DE-OBRA		
Duração dos turnos	horas	8,00
Número de turnos	turnos/dia	3,00
Colaboradores	colaboradores/turno	4,00
Salário médio	R\$	1.300,00
Encargos sociais	%	8,00%
FGTS	%	25,80%
Salário médio anual por safra	R\$ / safra	22.612,20
Custo da Mão-de-obra	R\$ / safra	271.346,40

Portanto o custo operacional do picador consolidado é de mais de R\$900.000/safra (Tabela 29), o que juntamente com o alto investimento industrial de quase R\$2 milhões de

reais (Tabela 18) faz com que seja necessário buscar alguma alternativa de equipamento para reduzir o tamanho da palha antes de chegar ao dosador de caldeiras (o que foi sugerido na Fig.29, colocando a palha separada pelo sistema de limpeza no último terno da moenda).

Tabela 29: Custo operacional dos picadores: consolidado

OPEX DO PICADOR		
Facas + Contra-facas	R\$/safra	408.000,00
Energia elétrica	R\$/safra	226.446,74
Mão-de-Obra	R\$/safra	271.346,40
OPEX TOTAL DO PICADOR	R\$/safra	905.793,14
	R\$/hora de operação	188,71

Tabela 30: Custo operacional industrial: sistema de limpeza sem picador

SISTEMA DE LIMPEZA SEM PICADOR		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
Manutenção					
Investimento industrial		-	7.459.095,50	7.459.095,50	7.459.095,50
manutenção = % do investimento industrial	2%				
Custo de Manutenção	R\$/Safrá	-	149.181,91	149.181,91	149.181,91
Mão - de - obra					
Salário médio anual com encargos	R\$/safrá	22.612,20	22.612,20	22.612,20	22.612,20
Número de turnos	turnos/dia	3,00	3,00	3,00	3,00
Colaboradores – Peneira	colaboradores	-	1,00	1,00	1,00
Colaboradores - Estação de limpeza	colaboradores	-	1,00	1,00	1,00
Custo Mão-de-obra – Peneira	R\$/safrá	-	67.836,60	67.836,60	67.836,60
Custo Mão-de-obra - Estação de limpeza	R\$/safrá	-	67.836,60	67.836,60	67.836,60
Custo de Mão de Obra	R\$ / Safrá	-	135.673,20	135.673,20	135.673,20
Energia Elétrica					
	Potência instalada (hp)	Unidades	Unidades	Unidades	Unidades
Esteiras	120,00	-	1,00	1,00	1,00
Peneira	15	-	1,00	1,00	1,00
Ventiladores	300	-	1,00	1,00	1,00
			Potência consumida(kW)		
Esteiras		-	80,54	80,54	80,54
Peneira		-	10,07	10,07	10,07
Ventiladores		-	201,34	201,34	201,34
Esteiras	R\$/Safrá	-	54.119,91	54.119,91	54.119,91
Peneira	R\$/Safrá	-	6.764,99	6.764,99	6.764,99
Ventiladores	R\$/Safrá	-	135.299,78	135.299,78	135.299,78
Custo Energia Elétrica	R\$/Safrá	-	196.184,69	196.184,69	196.184,69
Custo operacional do Sistema de Limpeza (Sem Picador)		-	481.039,80	481.039,80	481.039,80

Tabela 31: Custo operacional industrial: Uso do sistema de cogeração de energia, mesa e hillo

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
USO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO					
Investimento (250 ton/hora)	94.205.358,02				
Manutenção = % do investimento industrial	2%				
Manutenção	1.884.107,16				
Custo de Manutenção (rateado pela qtde de energia gerada em cada cenário)	R\$/MWh	8,37	8,37	7,59	6,59
Mão-de-obra					
Salário médio anual com encargos	R\$/ano	22.612,20			
Número de turnos	turnos/dia	3			
Colaboradores – Caldeira		2			
Colaboradores - Turbo-geradores		2			
Colaboradores - Tratamento de Água		1			
Custo de Mão de Obra	R\$ / Ano	339.183,00			
Custo de Mão-de-obra (rateado pela qtde de energia gerada em cada cenário)	R\$/MWh	1,51	1,51	1,37	1,19
Custo de cogeração	R\$/MWh	9,88	9,88	8,96	7,77
Custo – COGERAÇÃO	R\$/Safra	237.952,93	238.689,14	422.550,57	661.213,36
Custo marginal – COGERAÇÃO	R\$ / Safra	-	736,21	184.597,64	423.260,44

Tabela (cont.): Custo operacional industrial: Uso do sistema de cogeração de energia, mesa e hillo.

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
USO DA MESA E HILLO					
Investimento (250 ton/hora)	3.174.236,52				
Manutenção = % do investimento industrial	2%				
Manutenção	63.484,73				
Custo de Manutenção (rateado pela qtde de palha em cada cenário)	R\$/safra	993,54	993,54	1.904,54	3.339,30
Mão-de-Obra					
Salário médio anual com encargos	R\$/Ano.colaborador	22.612,20			
Número de turnos	turnos/dia	3			
Colaboradores		1			
Custo de Mão-de-Obra (rateado para palha)	R\$/Safra	1.061,64	1.061,64	2.035,10	3.568,21
Energia Elétrica					
Acionamento da Mesa+Hillo	cv instalado	425,00			
Acionamento da Mesa+Hillo	cv consumido	382,50			
Potência consumida	kW	4,46	4,46	8,56	15,00
Custo de Energia Elétrica	R\$/Safra	2.999,71	2.999,71	5.750,24	10.082,09
Custo - MESA+HILLO	R\$/Safra	5.054,89	5.054,89	9.689,88	16.989,59
Custo marginal - MESA + HILLO		-	-	4.634,99	11.934,70
Custo operacional do uso do sistema de cogeração, mesa e hillo		-	736,21	189.232,63	435.195,14

Portanto o custo operacional industrial para projetos sem picador para os cenários com 1,56%, 3% e 5,26% de palha é de R\$481.776,01, R\$670.272,43 e R\$916.234,94 respectivamente. Já com picador, estes valores sobem para R\$1.387.569,15, R\$1.576.065,57 e R\$1.822.028,08.

A Tabela 32 mostra a variação dos custos unitários de Corte, Carregamento e Transporte (CCT) consolidados, considerando a variação da distância lavoura-usina, e os 4 cenários em estudo.

Tabela 32: Custo operacional agrícola: Corte, Carregamento e Transporte

CUSTO DE CCT (R\$/t biomassa) variando em função do raio e do % de palha	Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
1 km	11,56	11,56	11,58	11,65
2 km	11,80	11,80	11,83	11,93
3 km	12,03	12,03	12,08	12,20
4 km	12,25	12,25	12,31	12,46
5 km	12,46	12,46	12,53	12,71
6 km	12,66	12,66	12,74	12,94
7 km	12,84	12,84	12,94	13,16
8 km	13,02	13,02	13,13	13,36
9 km	13,19	13,19	13,31	13,56
10 km	13,35	13,35	13,48	13,75
11 km	13,52	13,52	13,66	13,95
12 km	13,68	13,68	13,83	14,14
13 km	13,84	13,84	14,00	14,33
14 km	14,00	14,00	14,16	14,51
15 km	14,15	14,15	14,32	14,68
16 km	14,29	14,29	14,47	14,85
17 km	14,43	14,43	14,62	15,02
18 km	14,56	14,56	14,76	15,18
19 km	14,69	14,69	14,90	15,33
20 km	14,82	14,82	15,03	15,48
21 km	14,96	14,96	15,18	15,64
22 km	15,10	15,10	15,33	15,80
23 km	15,23	15,23	15,47	15,96
24 km	15,36	15,36	15,61	16,12
25 km	15,49	15,49	15,75	16,27
26 km	15,62	15,62	15,88	16,42
27 km	15,74	15,74	16,02	16,56
28 km	15,87	15,87	16,15	16,70
29 km	15,98	15,98	16,27	16,84
30 km	16,10	16,10	16,40	16,98
31 km	16,23	16,23	16,53	17,13
32 km	16,36	16,36	16,67	17,28
33 km	16,49	16,49	16,80	17,43
34 km	16,61	16,61	16,94	17,58
35 km	16,73	16,73	17,07	17,72

Ao analisar esta tabela percebe-se que para um mesmo raio, o custo unitário aumenta em função da quantidade de palha contida na biomassa de entrada. Adicionalmente, cenário com 5,26% de palha precisa-se de uma maior quantidade de biomassa de entrada para manter a quantidade de colmo constante. Assim, os custos deste cenário aumentam expressivamente pela multiplicação de dois fatores.

Por exemplo, para o cenário de raio 12 km (raio necessário para plantar 2.000.000 de t de biomassa), o custo adicional está expresso na Tabela 33.

Tabela 33: Custo operacional agrícola para raio de 12km: CCT

		1,565% de palha	3% de palha	5,26% de palha
Raio 12 km	R\$ / t biomassa	13,68	13,83	14,14
CCT	R\$/safra	27.368.606,50	28.153.110,89	29.619.431,19
CCT marginal 1,5% de palha	R\$/safra	0,00	784.504,39	2.250.824,69

De acordo com o investimento agrícola adicional em transbordo e rodotrens sinalizados nas Tabelas 20 e 22, foram computados nos custos operacionais manutenção e mão-de-obra (MDO) para estes novos investimentos.

A Tabela 34 consolida todos os custos operacionais agrícolas devidos ao recolhimento de palha adicional ao sistema tradicional de colheita. Já a Tabela 35 sintetiza todos os custos operacionais (industrial e agrícola).

Tabela 34: Custo operacional agrícola para raio de 12km: Manutenção, MDO, CCT

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palhe
MANUTEÇÃO					
Investimento agrícola		-	-	1.559.596,00	3.119.192,00
Manutenção = % do investimento industrial	10%				
Custo de Manutenção	R\$/safra	-	-	155.959,60	311.919,20
MÃO - DE - OBRA					
Colaboradores adicionais - Agrícola	colaboradores	-	-	3,00	6,00
Custo de Mão de Obra Adicional	R\$ / Safra	-	-	203.509,80	407.019,60
CCT	R\$ / Safra	27.368.606,50	27.368.606,50	28.153.110,89	29.619.431,19
CCT marginal	R\$ / Safra	-	-	784.504,39	2.250.824,69
Custo operacional agrícola	R\$ / Safra	-	-	1.143.973,79	2.969.763,49

Tabela 35: Custos operacionais industrial e agrícola para raio de 12km

		Sem Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 1,565% de palha	Com Sistema de Limpeza 3% de palha	Com Sistema de Limpeza 5,26% de palha
INDUSTRIAL					
Custo da Palha Adicional - COGERAÇÃO	R\$/Safra	-	736,21	184.597,64	423.260,44
Custo da Palha Adicional - MESA+HILLO	R\$ / Safra	-	-	4.634,99	11.934,70
Sistema de limpeza sem picador					
Custo de Manutenção industrial	R\$ / Safra	-	149.181,91	149.181,91	149.181,91
Custo de Mão de Obra	R\$ / Safra	-	135.673,20	135.673,20	135.673,20
Custo energia elétrica	R\$ / Safra	-	196.184,69	196.184,69	196.184,69
SUB-TOTAL OPEX INDUSTRIAL	R\$ / Safra	-	481.776,01	670.272,43	916.234,94
AGRÍCOLA					
Custo de Manutenção Adicional	R\$ / Safra	-	-	155.959,60	311.919,20
Mão - de - obra	R\$ / Safra	-	-	203.509,80	407.019,60
CCT adicional para um raio médio de 12 km	R\$ / Safra	-	-	784.504,39	2.250.824,69
SUB-TOTAL OPEX AGRÍCOLA	R\$ / Safra	-	-	1.143.973,79	2.969.763,49
OPEX: TOTAL	R\$ / Safra	-	481.776,01	1.814.246,23	3.885.998,43

5.2.5 – ANÁLISE DE FLUXO DE CAIXA DESCONTADO

Considerando como input inicial a distância entre lavoura-usina de 12 km (distância necessária para ter biomassa suficiente para os cenários estudados) e um preço de cogeração médio de 140 R\$/MWh (preço mais factível com o histórico de cogeração de energia) e sem picador, os cenários com 1,565% e 3% de palha contidas na biomassa de entrada não possuem caixa positivo ao final do horizonte de projeto de 10 anos, não apresentando indicadores econômicos favoráveis. Isto por que a receita adicional gerada principalmente por cogeração de energia são muito tímidas quando comparadas ao investimento inicial.

Portanto o único cenário que se mostrou atrativo (considerando a taxa de atratividade considerada foi a meta Selic 2012 de 8,5%) foi o que continha 5,26% de palha na biomassa de entrada (Figura 36).

Planta - capacidade s/palha adicional (t/safra)	2.000.000
Planta - capacidade c/palha adicional (t/safra)	2.094.298
Palha contida na biomassa de entrada (% massa)	5,26
Preço de venda de cogeração (R\$ / MWh)	140,00

Investimento agrícola + capital de giro (R\$)	3,12
Picador (MM R\$)	Sem Picador
Sistema de Limpeza Simples (MM R\$)	7,46
Investimento total (MMR\$)	10,58

TIR	23%
VPL (MM R\$)	11,72
Payback (safras)	3,57

Projeto atrativo

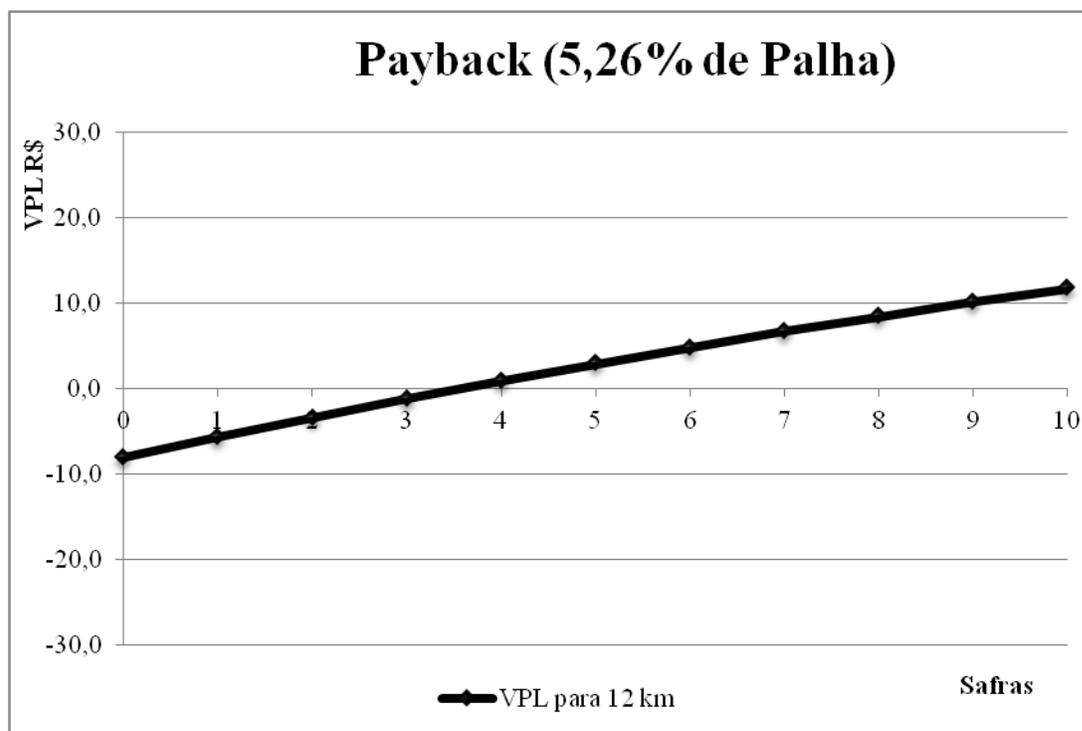


Figura 36: Indicadores Econômicos para o Cenário 3 (5,26% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e sem o uso do picador.

Ao se colocar o picador para as mesmas condições anteriores, o projeto já se torna inviável (Figura 37).

Planta - capacidade s/palha adicional (t/safra)	2.000.000
Planta - capacidade c/palha adicional (t/safra)	2.094.298
Palha contida na biomassa de entrada (% massa)	5,26
Preço de venda de cogeração (R\$ / MWh)	140,00

Investimento agrícola + capital de giro (R\$)	3,12
Picador (MM R\$)	1,90
Sistema de Limpeza Simples (MM R\$)	7,46
Investimento total (MMR\$)	12,48

TIR	3%
VPL (MM R\$)	1,75
Payback (safras)	8,31

Projeto NÃO atrativo

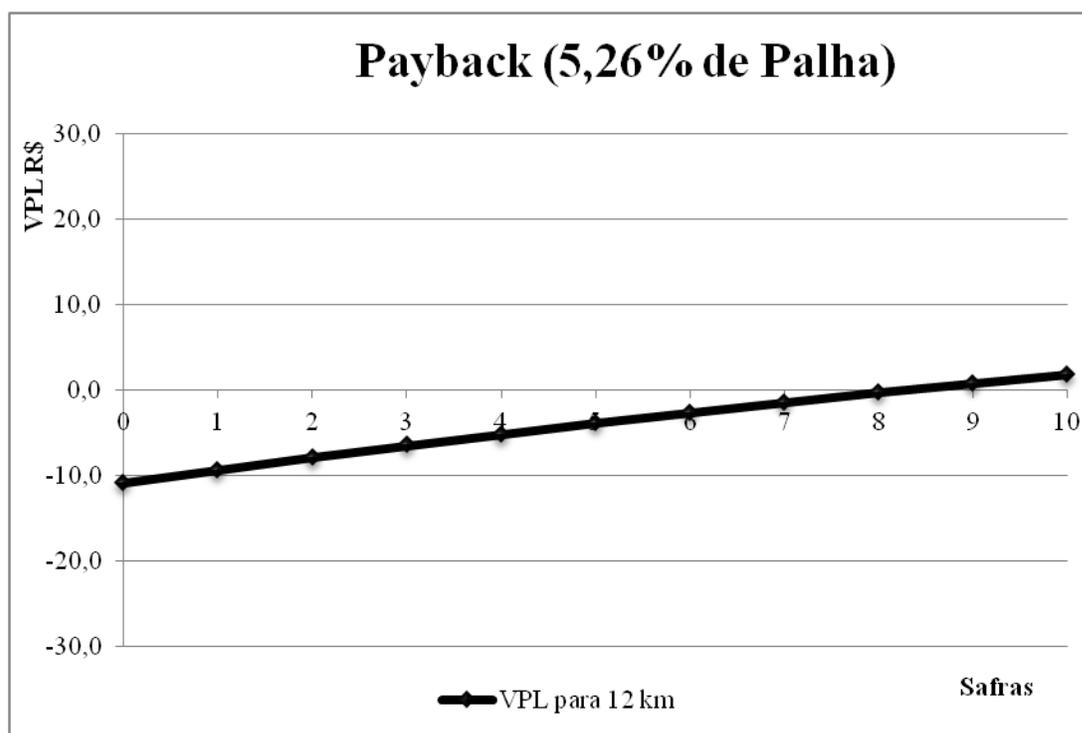


Figura 37: Indicadores Econômicos para o Cenário 3 (5,26% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e com o uso do picador.

A Tabela 10 mostrou que para os dados utilizados como referência bibliográfica, manter 65% do palhicho no campo resulta em 8,51 t/ha (B.S), superior aos 7,5 t/ha citados como necessários por MANECHINI et al. (2005).

Por isso foi simulado o cenário com o limite técnico de 7% de palha contido na biomassa de entrada, que apresentou indicadores econômicos mais favoráveis que o cenário de 5,26% de palha (Fig.38).

Planta - capacidade s/palha adicional (t/safra)	2.000.000
Planta - capacidade c/palha adicional (t/safra)	2.141.852
Palha contida na biomassa de entrada (% massa)	7
Preço de venda de cogeração (RS / MWh)	140,00
Investimento agrícola + capital de giro (RS)	4,38
Picador (MM RS)	Sem Picador
Sistema de Limpeza Simples (MM RS)	7,46
Investimento total (MMRS)	11,84
TIR	38%
VPL (MM RS)	21,09
Payback (safras)	2,38
Projeto atrativo	

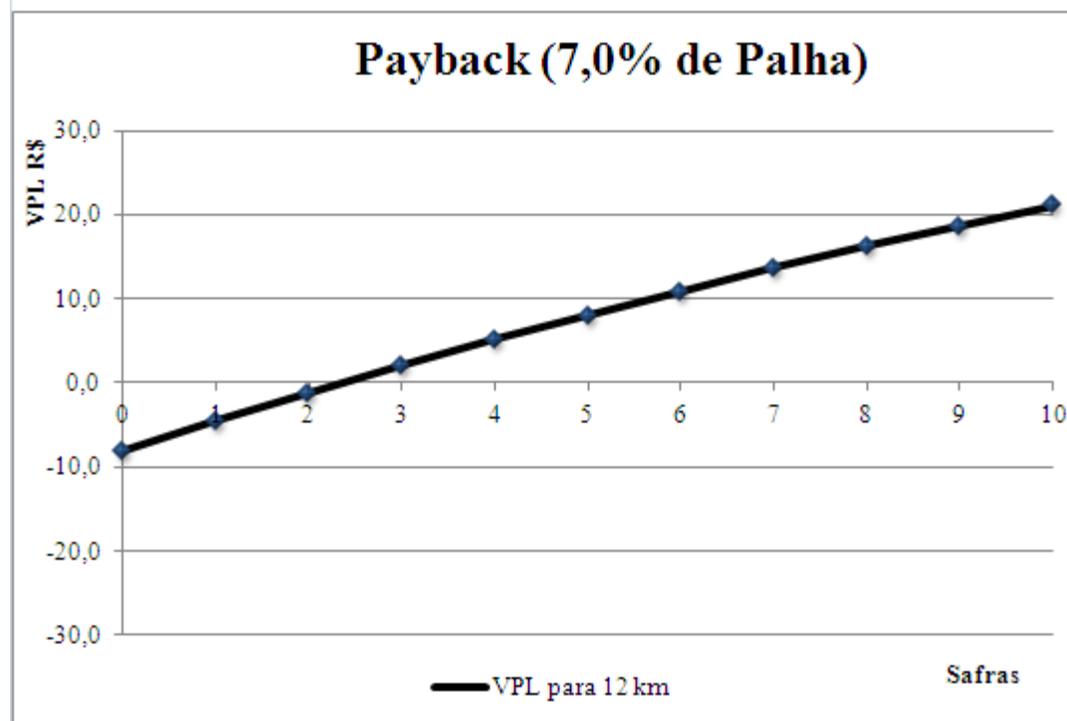


Figura 38: Indicadores Econômicos para o Cenário com 7% de palha), para 12 km de distância entre lavoura e usina e sem o uso do picador.

Este cenário de 7% de palha na biomassa de entrada representa pelos dados bibliográficos deixar 6,81 t/ha (B.S) de palhicho no campo.

5.2.5.1 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: DISTÂNCIA LAVOURA-USINA

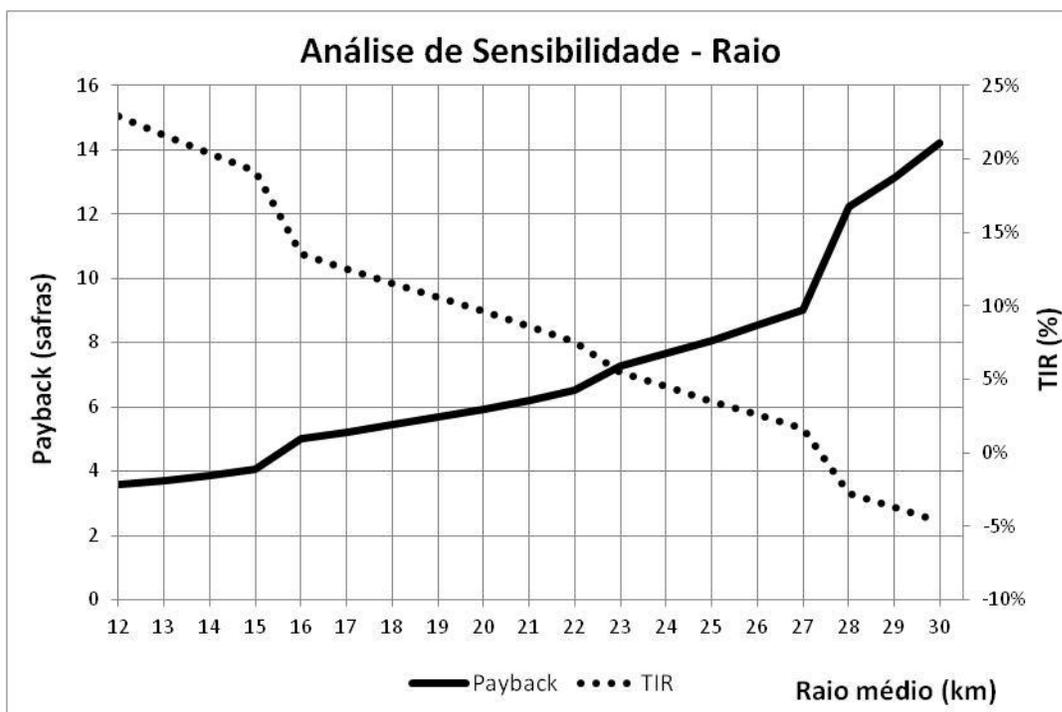


Figura 39: Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos do Cenário 3 (5,26% de palha) variando a distância da lavoura a usina, considerando o projeto sem picador e o preço da cogeração de R\$140/MWh

A Figura 39 mostra que a distância entre lavoura – usina possui grande impacto na rentabilidade do projeto sendo que, considerando as premissas utilizadas, raios inferiores a 20 km ainda produzem resultados econômicos aceitáveis (payback inferior a 6 safras e TIR de aproximadamente 10%).

5.2.5.2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: PREÇO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA

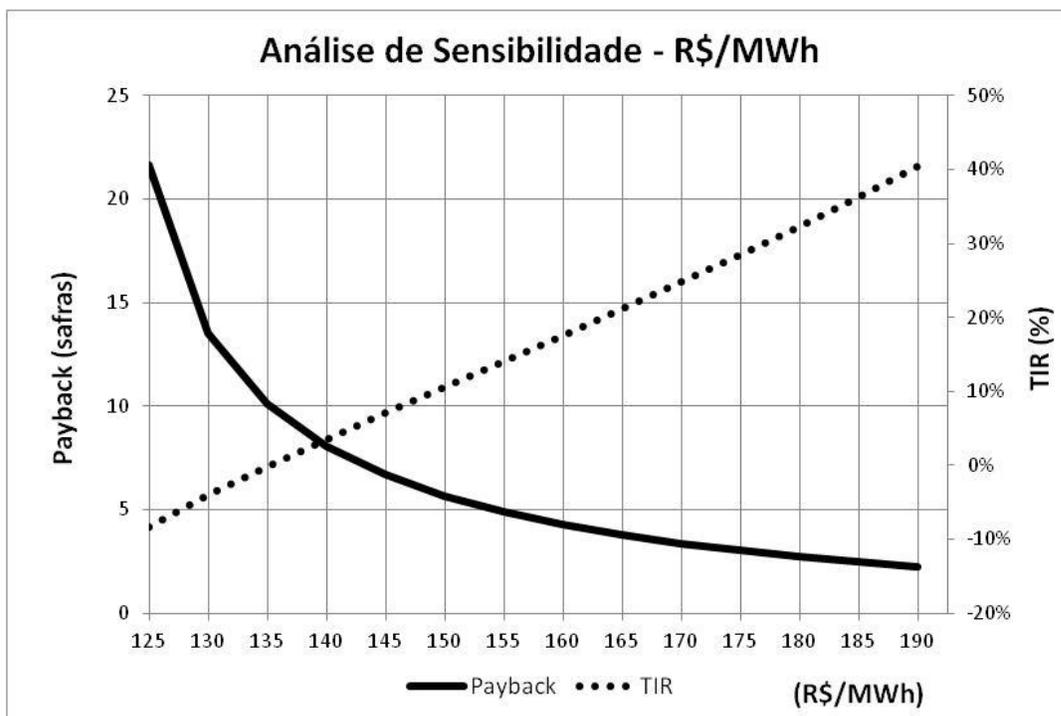


Figura 40: Análise de sensibilidade dos indicadores econômicos do Cenário 3 (5,26% de palha) variando o preço do MWh, considerando o projeto sem picador e a distância da lavoura a usina de 25 km

A Figura 40 mostra que a análise realizada é muito sensível a variação de preço do pago pelo MWh gerado, sendo que para viabilizarmos o projeto considerando um raio de 25 km e as premissas anteriormente descritas, é necessário que o valor da cogeração alcance a ordem de R\$150,00 / MWh.

A distância de 25 km foi escolhida por ser a média percorrida pela cana do ponto de colheita até a indústria para o estado de São Paulo (CONAB, 2012).

6 – CONCLUSÕES

O cenário atual de colheita integral mostrou que de toda biomassa que chega à usina, 1,565% base mássica é constituído de palha (diferente de impureza vegetal que é na ordem de 6%).

Pelos resultados apresentados, em função da queda de densidade e do tempo fixo de tombamento de uma caixa de rodotrem, o limite técnico de recebimento de palha considerando a existência de 01 mesa alimentadora e um hillo é de 7% (base mássica). Ademais, este adicional de palha contida na biomassa de entrada é absorvido pelo sistema de extração sem investimentos adicionais.

Já respeitando o efeito herbicida, somente pode ser recolhido 35% da palha disponíveis no campo o que equivale a 5,26% base mássica da biomassa de entrada na usina. Ou seja, os cenários em estudo variaram de 1,565% de palha contida na biomassa de entrada a 5,26% base mássica.

Instalar um sistema de limpeza de palhiço na usina sem recolher palha adicional não é vantajoso economicamente já que o de melhora da qualidade do caldo é muito pequena frente ao tamanho do investimento industrial. Por isso o cenário com 1,565% de palha contida na biomassa de entrada não apresentou indicadores econômicos satisfatórios.

Pelas análises realizadas, o cenários de 3% de palha contida na biomassa de entrada não se mostrou viável economicamente já que apresentou fluxos de caixa inexpressivos frente ao tamanho do investimento e custos operacionais (industrial e agrícola) necessários para se recolher estas folhas adicionais e processá-las na usina.

Em se tratando de investimento industrial, os picadores inviabilizam o projeto para qualquer cenário, tanto pelo seu elevado custo operacional quanto pelo seu investimento industrial sendo necessário buscar outra alternativa de equipamento para reduzir o tamanho da palha antes de chegar ao dosador de caldeiras ou mesmo adaptar os dosadores de caldeira para receberem palha sem picar.

Quanto maior a quantidade de palha contida na biomassa de entrada (respeitando o limite técnico de 7%), mais favorável fica os indicadores econômicos já que o incremento de receita de cogeração é grande o suficiente para superar a perda de sacarose do caldo, aumento de investimento agrícola, aumento de custos operacionais agrícolas/industriais mantendo-se o mesmo investimento industrial.

O custo operacional agrícola de carregamento e transporte foi expressivo dentro da totalidade dos custos operacionais em função basicamente da queda de densidade transportada. Assim sendo, a distância entre lavoura – usina indicou grande impacto na rentabilidade do projeto sendo que, para um preço médio de cogeração de energia de 140 R\$/MWh e um projeto sem picador, raios inferiores a 20 km ainda produziram resultados econômicos aceitáveis para investimentos deste porte (payback inferior a 6 safras e TIR de aproximadamente 10%).

Por outro lado, a remuneração pela energia também é um pilar importante para a sensibilidade do projeto já que o principal drive de receita é a cogeração. Um cenário sem picador, para 5,26% de palha contida na biomassa de entrada, uma distância entre lavoura-usina de 25 km, somente se viabiliza com um valor de remuneração na ordem de R\$150,00 / MWh.

7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 – NOVAS TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO DE PALHIÇO PARA USINAS, VIA COLHEITA INTEGRAL

MICHELAZZO (2005) analisou técnica e economicamente o recolhimento do palhiço considerando seis sistemas diferentes (briquetagem, peletização, fardo algodoeiro, picado a granel, fardo cilíndrico e colheita integral). De acordo com os resultados, o sistema de colheita integral apresentou o menor custo de recuperação do palhiço tanto para distância pequenas como para grandes distâncias. Além disso, a rota de recolhimento via colheita integral apresentou o segundo menor investimento agrícola (acima somente da rota através de fardo cilíndrico) e níveis de impureza mineral menores que em outras rotas.

Portanto a colheita integral trazendo palhiço juntamente com o colmo foi a rota tecnológica de recolhimento de palhiço escolhida para o estudo desta tese.

Por outro lado, devido ao porte do investimento necessário para separar palha na usina e depois processá-la até o sistema de cogeração, é necessária a maior quantidade de palha possível e menor custo operacional para que o saldo de receita menos custo fique compatível ao nível de investimento.

Por isso, ao longo desta dissertação, foram verificadas algumas oportunidades de desenvolvimento tecnológico que poderiam mudar os resultados apresentados. São elas:

- ✓ Máquina agrícola que possibilitasse que recolhimento de palha via colheita integral não impactasse tanto na densidade, como por exemplo reduzindo o tamanho da palha no campo. Com isso, a alavanca de custos agrícolas poderia ser sensivelmente favorecida (em função da queda de densidade da carga transportada, conforme premissas e resultados mostrados anteriormente, raios superiores a 20 km não se mostram viáveis economicamente)
- ✓ Diminuir tempo de tombamento do hillo para aumentar o limite técnico de palha que uma usina está preparada para receber considerando o investimento industrial em um sistema de recepção. Esta modificação poderia favorecer o pilar de receita da análise econômica (vale lembrar que é preciso respeitar o limite agrônômico ou mesmo quantificar o tamanho do penalt em não se respeitar e adicionar no modelo técnico-econômico)

- ✓ Possibilidade de melhoria no dosador de caldeiras para que não seja necessário diminuir o tamanho da palha que chega até a caldeira. Este ponto além de favorecer custos operacionais, diminuiria os investimentos industriais já que reduziria não só o equipamento picador como também a quantidade de esteiras.

7.2 – NOVAS TECNOLOGIAS PARA COMPACTAÇÃO DA PALHA PARA APROVEITAMENTO FORA DA USINA

Pela quantidade de trabalhos encontrados em bibliografia, dado que muitas vezes não se encontram preços factíveis de cogeração de energia para a usina e que outros mercados para exploração da palha podem ser melhor explorados, foi diagnosticada a oportunidade explorar com uma visão mais holística e de longo prazo o tema compactação da palha para fins energéticos.

Para tal fim, seria interessante separar receitas, custos e investimentos da usina atual entre sacarose (açúcar, etanol), bagaço (cogeração de energia) e palha (cogeração de energia) para poder se comparar as realidades dos negócios.

8 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BANCHI, Ângelo Domingos; LOPES, José Roberto; DIMASE, Marcelo; MARTINS, José Marcos S. Eficiência global da operação de colheita – cultura de cana-de-açúcar.

Revista Agrimotor, nº 76, p.22 – 27, julho de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

BATALHA, Mário Otávio. **Gestão Agroindustrial: GEPAI (Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais)**. São Paulo, SP: Editora Atlas, 2001.

BRAUNBECK, Oscar A; MAGALHÃES, Paulo S Graziano; GARCIA, Marcelo Oliveira. Colheita e recuperação da biomassa. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 3, p. 63-91.

BRUMAZI. **Sistema: Recepção, preparo e moagem – cana**. Disponível em: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-limpeza-seco.php. Acesso em 07 de Novembro de 2010.

CALDEIRA, D.S.A. **Palhico residual de cana-de-açúcar (Saccharum spp) colhida mecanicamente (sem queima prévia): manejo, fertilização, influência no perfilhamento e produtividade da cultura**. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002, 94p.

CARDOSO, Fernando Henrique. **LEI Nº 9.718, DE 27 DE NOVEMBRO DE 1998**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9718compilada.htm. Acesso em 23 Março 2012.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 2º leilão de fontes alternativas de energia (31/08/2010). Disponível em: <http://www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vnextoid=a893f5b4ccd98110VgnVCM1000005e01010aRCRD>. Acesso em 11 de Março de 2012.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa (Coord). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Bluncher, 2010.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; AYARZA, Juan Arturo Castañeda. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 1, p. 15-29.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. Caracterização da biomassa. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 2, p. 31-62.

DEDINI – Indústria de base. Folheto Técnico sobre energia, 2009.

ECLIMEC. **Usinas**. Disponível em: <http://www.elcimec.com.br/conteudo.php?sid=12>. Acesso em 07 de Novembro de 2010.

ENSINAS, Adriano V.; ARNAO, Juan Harold Sosa; NEBRA, Silvia Azucena. Aumento de eficiência energética em plantas produtoras de açúcar, etanol e energia elétrica. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Bluncher, 2010. Cap. 6, p. 583-600.

FERNANDES, Antonio Carlos. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2 ed. Piracicaba: STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2003. 240p.

FRANCO, F.N. **Alguns parâmetros de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhico de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) a granel.** Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GÓMEZ, Edgardo Olivares; SOUZA, Renata Torres Gomes de; ROCHA, George Jackson de; ALMEIDA, Eduardo de; CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. A palha da cana-de-açúcar como matéria-prima para processos de segunda geração. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade.** São Paulo: Bluncher, 2010. Cap. 9, p. 637-659.

GONÇALVES, Adilson Roberto; BENAR, Priscila; SCHUCHARDT, Ulf. Liquefação de biomassas. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia.** Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 12, p. 419-434.

HUGOT, Emile. **Manual da engenharia açucareira: Volume I.** Dunod, Paris: Editora Mestre Jou, 1969.

HUGOT, Emile. **Manual da engenharia açucareira: Volume II.** Dunod, Paris: Editora Mestre Jou, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Tabela: Quantidade Produzida (Toneladas) de cana-de-açúcar no Brasil e Unidades da Federação no ano de 2007. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/> Acesso em 08 de julho 2009.

JORNAL PARANÁ. **Limpeza a seco soluciona problema com impurezas.** Disponível em: http://www.jornalparana.com.br/ver_edicao.php?id=358&tipo=22. Acesso em 23 de Novembro de 2009.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel**. São Paulo, SP: Editora Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 2000.

LEAL, Manoel Regis Lima Verde. Evolução tecnológica do processamento da cana-de-açúcar para etanol e energia elétrica. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Bluncher, 2010. Cap. 4, p. 561-575.

LIMA, L. O. T. C. Com maior densidade. **Idea News**, n.19, p.28-31, abril de 2002.

LORA, Electo Eduardo Silva; ANDRADE, Rubenildo Vieira; SANCHEZ, Caio Glauco; GÓMEZ, Edgardo Olivares; SALES, Cristina Ap. Vilas Bôas. Gaseificação. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 9, p. 241-333.

LORA, Electo Eduardo Silva; ZAMPERI, Marcelo. Balanço de massa e energia nos processos de combustão. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 6, p. 133-153.

LORA, Electo Eduardo Silva; ZAMPERI, Marcelo. Características construtivas e avaliação de caldeiras para biomassa. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 8, p. 179-240.

LUENGO, Alberto Carlos; FELFTI, Felix Eliecer Fonseca; BEZZON Guilherme . Pirólise e torrefação de biomassa. In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2008. Cap. 10, p. 333-352.

MANECHINI, Célio; JÚNIOR, Adhair Ricci; DONZELLI, Jorge Luis. Benefits and problems of trash left in the field. In: HASSUANI, S. J., VERDE LEAL, M. R. L., MACEDO, I. C. (Ed.). **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Project BRA/96/G31 PNUD –CTC**. Unipress Disc Records do Brasil, Série Caminhos para Sustentabilidade, Piracicaba, São Paulo, 2005. Cap. 3, p. 27-35.

MARCHI, Antonio Sérgio; PIZZINATO, Antonio Airton; ROCHA, Douglas Edson da; SILVA, João Eduardo Azevedo Ramos da. Unburned cane harvesting with trash recovery routes. In: HASSUANI, S. J., VERDE LEAL, M. R. L., MACEDO, I. C. (Ed.). **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Project BRA/96/G31 PNUD –CTC**. Unipress Disc Records do Brasil, Série Caminhos para Sustentabilidade, Piracicaba, São Paulo, 2005. Cap. 10, p. 64-69.

MICHELAZZO, M. B. **Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhico da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2005.

BRUMAZI. **Sistema: Recepção, preparo e moagem – cana**. Disponível em: http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/aa-sistema-recepcao-preparo-limpeza-seco.php. Acesso em 07 de Novembro de 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil: Edição para a safra 2009-2010**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=539&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos. Acesso em 03/08/2012

OLIVEIRA, E. R. Bagaço de cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v.2, n.4, maio/junho 1982.

OLIVEIRA, J. A. N. **Engenharia econômica: uma abordagem às decisões de investimento.** São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

PAES, Luiz Antonio Dias; HASSUANI, Suleiman José. Potential trash biomass of the sugar cane plantation, including trash recovery factors. In: HASSUANI, S. J., VERDE LEAL, M. R. L., MACEDO, I. C. (Ed.). **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Project BRA/96/G31 PNUD –CTC.** Unipress Disc Records do Brasil, Série Caminhos para Sustentabilidade, Piracicaba, São Paulo, 2005. Cap. 11, p. 70-73.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba, SP: Edição dos autores, 2009.

RIPOLI, T. C. C. Algumas considerações sobre o palhiço como fonte de energia. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL CANA & ENERGIA.** Ribeirão Preto, 2001. Instituto Nacional de Eficiência Energética; Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial, 2001.

RIPOLI, T. C. C. **Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): equacionamento dos balanços energético econômico.** Tese (Livro-Docência) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1991.

RIPOLI, T.C; MOLINA JR., W.F; NOGUEIRA, M.C.S.; MATOS, J.R. Equivalente energético do palhiço de cana-de-açúcar. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19. Piracicaba. 1990. **Anais.** Piracicaba: FEALQ; SBEA, 1990b. p.249-262.

RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu potencial energético.** Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.

SARTORI, M. M. P. **Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

SCHEMBRI, M.G.; HOBSON, P.A.; PADDOCK, R. The development of a prototype factory based trash separation plant. **Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.**, Vol. 24, 2002.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Preço-teto de leilão de energia desencoraja investimentos em bioeletricidade (22/03/20012). Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nwsCode=%7B3985304E-7262-4ED3-8EDE-D85A38934B72%7D>. Acesso em 11 de Março 2012.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Cresce a mecanização na colheita de cana-de-açúcar em São Paulo (11/05/2009). Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticias/>. Acesso em 08 de julho 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro (04/06/2007). Disponível em: <http://www.unica.com.br/content/>. Acesso em 08 de julho 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Perguntas frequentes (04/06/2008). Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/portalunica/index.php?Secao=sobre%20a%20UNICA&SubSecao=perguntas%20freqüentes>. Acesso em 06 de junho de 2008.

TAVARES, Paulo Cezar Coelho. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA): O bagaço da cana como alternativa energética. Disponível em: <http://www.unica.com.br/opinioa/show.asp?msgCode={46B20D1D-D55C-4E4B-8D13-4919D0FB6F67}>. Acesso em 23 de agosto de 2009.

WALTER, Arnaldo. Workshop potencial de geração de eletricidade a partir da biomassa residual da cana: oportunidades, desafios e ações necessárias – relatório final.

In: CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Bluncher, 2010. Cap. 5, p. 578-582.

WALTER, A. C. S.; NOGUEIRA, L. A. H. **Tecnologias de conversão energética da biomassa**. Amazonas, AM. Editora da Universidade do Amazonas. 1997.