

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LARISSA PALHARES COSTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL E
GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO CANA ENERGIA**

VIÇOSA
2020

LARISSA PALHARES COSTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL E
GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO DA CANA ENERGIA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Perez

VIÇOSA
2020

ESTUDO DE VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE ETANOL E GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA CANA ENERGIA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 06 de Julho de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Perez - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. José Carlos da Costa Campos - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Marco Sartori - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin)

Dedico esse projeto à Deus, à minha família, ao professor Ronaldo Perez e todos aqueles que colaboraram e incentivaram a realização desse sonho. A vitória é nossa!

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que fizeram e fazem parte da minha vida, em especial à Deus e meus anjos protetores, que nos momentos difíceis e de fraquejo me deram forças para reerguer e continuar, à Universidade Federal de Viçosa, que foi facilitadora do meu aprendizado e desenvolvimento pessoal e profissional, aos professores que me incentivaram e tiveram papel indispensável em meu aprendizado, em especial ao professor Ronaldo Perez, que possibilitou a realização desse estudo através de sua orientação. Aos meus pais, Kátia e Ricardo, que permitiram a realização desse sonho através de muito amor, carinho e compreensão. À minha irmã, Lorena, que apesar da distância, fortalecemos nossos laços e ser um exemplo que ela possa se espelhar se tornou um objetivo. Aos meus amigos que estiveram comigo durante a jornada me apoiando, em especial às minhas irmãs postizas Thamires e Gabriela. Ao meu namorado, Weverton, que esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo companheiro, amigo e confidente. Agradeço a todos que me ajudaram a conquistar esse objetivo, e que venham novos desafios. Muito Obrigada!

Resumo

A energia renovável está em pauta em todo o mundo como uma solução para a alta demanda energética concatenada com a preservação do meio ambiente. O Brasil possui cerca de 80% da sua matriz energética advinda de recursos renováveis, entretanto a cogeração pelo uso da biomassa ainda não condiz com o seu potencial de produção. Com o estudo e análise de quatro cenários de produção de etanol e geração de energia utilizando a cana energia como matéria prima, foi possível obter resultados de viabilidade favoráveis para o modelo integrado de produção de etanol e geração de energia com uma TIR de 13,82, bem como a geração de energia através da aquisição do bagaço de uma usina, com uma TIR de 13,68. A alta umidade e baixo valor de ATR inviabilizam os cenários de somente produção de etanol e geração de energia utilizando a cana inteira como matéria prima. Não quer dizer que usinas de etanol não sejam viáveis, porem precisa de encontrar a escala adequada para atingir o ponto de equilíbrio. Este ponto de equilíbrio também pode ser atingido, com a produção conjunta de açúcar.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.2. Produção de Biomassa	11
1.3. Cogeração de energia a partir de biomassa no setor sucroalcooleiro	12
1.4. Cana Energia	13
1.5. Objetivo.....	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS	14
2.1.1. Parâmetros do Projeto	14
2.1.2. Cenários Analisados.....	15
2.1.3. Indicadores Financeiros.....	16
3. RESULTADOS	17
3.1.1 Cenário 1: Produção de etanol utilizando cana energia.....	17
3.1.2. Cenário 2: Geração de energia utilizando cana energia	18
3.1.3. Cenário 3: Geração de energia utilizando bagaço da cana energia	19
3.1.4. Cenário 4: Produção de etanol associada à geração de energia.....	20
4. CONCLUSÃO	23
5. REFERÊNCIAS	24
Anexo I – Orçamento Termelétrica.....	26
Anexo II – Orçamento Subestação.....	26

Lista de Tabelas

Tabela 1: Oferta Interna de Energia Elétrica.....	11
Tabela 2: Produtos da biomassa nas indústrias	11
Tabela 3: Projeção da produção, oferta e destinação da biomassa.....	12
Tabela 4: Balanço de massa simplificado do processo	15
Tabela 5: Cenários analisados no estudo de viabilidade	16
Tabela 6: Resultados de viabilidade.....	17
Tabela 7: Representatividade dos Custos Fixos e Custos Variáveis de acordo com os totais da indústria do cenário 1	18
Tabela 8: Custos Fixos e Variáveis do cenário 3	19
Tabela 9: Representatividade dos Custos Fixos e Custos Variáveis de acordo com os totais da indústria do cenário 4.....	20
Tabela 10: Mudança de parâmetros para um VPL maior que 0.....	23

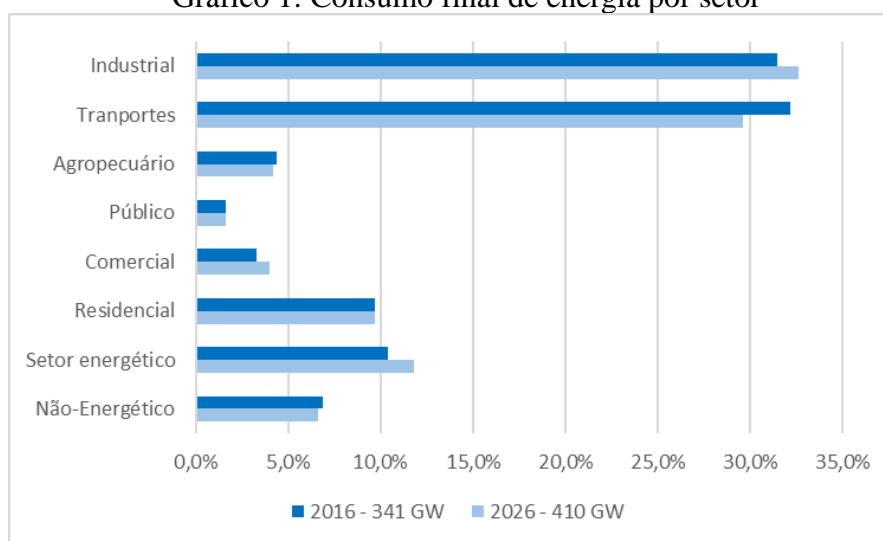
1. INTRODUÇÃO

1.1. Demandas energéticas do Brasil

O consumo de energia no Brasil está diretamente relacionado aos aspectos de transformação, transporte e de consumo, influenciado pela urbanização e crescimento demográfico, mas também pelo vasto território nacional e pela opção do transporte rodoviário (TOLMASQUIM et al, 2007).

Pode - se observar pelo Gráfico 1, que o setor industrial e transporte são responsáveis pela maior parte do consumo final de energia no Brasil e mantém sua participação crescente nesse consumo até 2026. Em grande medida, o consumo deste setor se amplia, com necessidade de expansões de capacidade, principalmente no segundo quinquênio (MME/EPE, 2017).

Gráfico 1: Consumo final de energia por setor



Fonte: (MME/EPE, 2017)

Diante de um cenário de consumo de energia crescente, novas fontes de geração de energia são necessárias para suprir tal conjuntura. Neste sentido, o relatório Tendências Globais de Investimento em Energias Sustentáveis destaca o Brasil como o maior mercado mundial de energias renováveis devido às suas condições naturais favoráveis, que permitem o desenvolvimento de fontes de energia diversas com matriz energética limpa (ANEEL, 2010). No contexto da energia elétrica, pode-se verificar na tabela 1, que da oferta de energia elétrica em 2016, 81,7 % da energia elétrica provinha de fontes renováveis, com 6,2 pontos

percentuais acima de 2015 (MME,2017).

Tabela 1: Oferta Interna de Energia Elétrica

Especificação	GWh	
	2015	2016
Hidráulica	359.743	380.911
Bagaço de Cana	34.163	35.236
Eólica	21.626	33.489
Solar	59	85
Outras Renováveis	15.074	15.805
Óleo	25.657	12.103
Gás Natural	79.49	56.485
Carvão	18.856	17.001
Nuclear	14.734	15.864
Outras Não Renováveis	11.826	11.92
Importação	34.422	40.795
Total	615.65	619.693
Dos quais renováveis	465.087	506.32

Fonte: (MME, 2017)

1.2. Produção de Biomassa

É preocupante observar que muito do potencial energético da biomassa é desperdiçado. De acordo com os diferentes tipos de atividades industriais, correlacionados às diversas fontes de biomassa possíveis, a tabela 2 apresenta um apanhado dos principais produtos da biomassa em uso nas indústrias, bem como sua representatividade nos parques em operação:

Tabela 2: Produtos da biomassa nas indústrias

Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Licor Negro	18	2.542.616	17,58
Resíduos de Madeira	55	425.197	2,94
Capim Elefante	2	31.700	0,22
Biogás	20	133.129	0,92
Bagaço de Cana de Açúcar	405	11.239.335	77,7
Óleo de Palmiste	2	4.350	0,03
Carvão Vegetal	8	43.197	0,3
Casca de Arroz	12	45.333	0,31
Total	522	14.464.857	100

Fonte: ANEEL, 2018

Os dados mostram que a quantidade de biomassa utilizada nos parques em operação é muito pequena frente ao enorme potencial de produção, e demanda brasileira de 68 GW em 2018. Dessa forma, a eficiência de aproveitamento dos subprodutos industriais característicos da biomassa encontra-se reduzida, fato que

adentra a relevância da ampliação de seu uso como uma potencialidade econômica e energética para o meio industrial.

1.3. Cogeração de energia a partir de biomassa no setor sucroalcooleiro

Conforme dados da matriz energética, tabela 1, evidenciam que o setor energético brasileiro é abastecido principalmente por fontes energéticas como a água (hidreletricidade) e derivados do petróleo (combustíveis fósseis). Como uma solução para ampliação da oferta de energia, temos adoção mais efetiva da biomassa.

Uma das principais fontes de biomassa é o bagaço da cana-de-açúcar, conforme tabela 1 e tabela 3, que representa uma forte alternativa à hidroeletricidade e um potencial complemento ao uso de determinadas fontes energéticas em estações secas ou outros períodos de instabilidade que demandem novas opções (AIA, 2017).

A discussão acerca da reduzida eficiência de utilização da biomassa por parte das usinas frente ao amplo potencial produtivo, usualmente envolve a produção de bagaço no setor sucroalcooleiro. Isso ocorre pois existe uma elevada oferta de subprodutos da cana-de-açúcar caracterizados como biomassa e que apresentam elevado potencial para as indústrias sucroalcooleiras, conforme evidenciado pela tabela 3 (OLIVEIRA, 2014).

Tabela 3: Projeção da produção, oferta e destinação da biomassa

	2005	2010	2020	2030
Produção de cana	431	516	849	1.140
Biomassa produzida	117,8	141,9	233,5	313,5
Bagaço	57,8	69,7	114,6	153,9
Palha	60,0	72,2	118,9	159,6
Biomassa ofertada	57,8	73,3	132,3	185,8
Uso do bagaço	100%	100%	100%	100%
Recuperação da palha	0%	5,0%	14,9%	20,0%
Destinação da biomassa				
Produção de etanol	0,0	0,3	17,7	18,7
Produção de eletricidade	57,8	73,0	114,6	167,1

Fonte: AIA - Revista indicadores do agronegócio

Conforme Tabela 3, há uma expectativa de expansão da utilização da biomassa da cana-de-açúcar no parque industrial brasileiro, entretanto a mesma ainda se mostra tímida frente ao potencial existente. Conforme evidenciado, a

utilização da biomassa pode ser voltada à produção de etanol ou de eletricidade, destinos que favorecem tanto questões de logística quanto econômicas, proporcionadas por um aumento da eficiência de utilização.

1.4. Cana Energia

Neste contexto de produção energética, apresenta-se a cana energia. A cana energia é uma variedade de cana obtida a partir do cruzamento das espécies *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum* (SILVEIRA et al, 2015). No Brasil as pesquisas em relação à essa variedade começaram na década de 80, mas foram realmente desenvolvidas a partir de 2002 devido aos estudos sobre cogeração de energia, ao crescimento do potencial de produtos a partir da cana, como etanol de segunda geração, pelo incentivo de mercado à inovações de processos e produtos e pela garantia, através de estudos de viabilidade, de um faturamento aceitável (CHERUBIN, 2015).

Segundo (LIMA, 2016), as principais características da cana energia são o alto teor de fibra celulósica e alto teor de lignina em sua composição, sendo importantes pela maior produção mássica de bagaço e maior poder calorífico, respectivamente. Quando comparada à cana comumente produzida, a cana energia possui uma produção mais elevada devido ao seu diâmetro ser cerca de 2,3 vezes menor e sua capacidade de produção em regiões improdutivas, o que possibilita uma vasta expansão da área produzida, já que o Brasil possui 32 milhões de hectares de pastagens degradadas (MATSUOKA et al, 2010).

Dessa forma, a produção da cana energia tem um grande potencial quando se configura um cenário de expansão da cogeração de energia, etanol de segunda geração e geração distribuída.

1.5. Objetivo

Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da implantação de uma unidade de produção de etanol e geração de energia, utilizando como matéria prima a cana energia, em diferentes cenários e escalas estratégicas de produção.

O estudo de viabilidade focado no alto potencial de crescimento da geração de energia a partir da biomassa no Brasil, na possibilidade da implantação da

cogeração em usinas sucroalcooleiras visando a redução de custos e na utilização da recente desenvolvida, cana energia, traz um panorama de resultado de investimento para o setor sucroalcooleiro e de geração distribuída, tendo em vista o aumento da produtividade desse setor no mercado brasileiro e consequente progresso da economia do país.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Sistema de Apoio à Decisão

As informações de custos, investimentos, coeficientes de produção e consumo foram inseridos no software *Sistema de Apoio à Decisão* (SAD), que é uma ferramenta de viabilidade desenvolvida no software *Excel* por meio de planilhas interligadas, com o propósito de realizar a análise econômica de projetos de produção de etanol, através do balanço de massa e energia do seu processamento. Os resultados da viabilidade do projeto são dados por indicadores financeiros, composição de custos, fluxo de caixa e fluxo de investimentos. Tal ferramenta foi publicada e validada nos artigos OLIVEIRA et al. (2010), GOMES et al. (2010).

2.1.1. Parâmetros do Projeto

O projeto foi baseado na produção de uma usina sucroalcooleira de médio porte, frequentemente encontradas no estado de São Paulo (CONAB, 2017), deste modo o dimensionamento dos equipamentos tomou como base uma produção diária de etanol de 342 m³. Para o dimensionamento dos equipamentos da termelétrica e subestação foi utilizada a quantidade de energia gerada a partir do bagaço da cana energia, fabricado com base na produção de etanol, sendo essa 0,052 KWh/L de etanol hidratado e anidro.

Para análise do capital necessário para efetuação do projeto foram realizados orçamentos dos equipamentos dimensionados junto a empresas produtoras, fornecedores de equipamentos do setor sucroalcooleiro e cogeração e empresas distribuidoras de energia. Os mesmos se encontram no Anexo I e II.

Para a estipulação do tempo de operação da planta de etanol, sendo o mesmo de 200 dias por ano, levou-se em consideração a entressafra da cana-de-açúcar. Para o funcionamento da termelétrica e subestação nos cenários analisados

o tempo considerado foi de 300 dias por ano e uma capacidade de geração de 514 MW.

Para todos os cenários em estudo, foi adotado uma TMA de 12% e uma tributação sobre os lucros da indústria de 12,5%. O período de análise do projeto é de 20 anos com 3 turnos de trabalho e depreciação dos equipamentos em um período de 10 anos.

2.1.2. Cenários Analisados

O estudo de viabilidade realizado foi composto pela elaboração de cenários, nos quais variou-se a atividade executada pela indústria entre produção de etanol e produção de energia por meio de uma termelétrica montada segundo o ciclo Rankine (PANOSSO, 2003) ou a combinação destas. Dessa forma, objetivou-se atingir um maior grau de amplitude da análise, na medida em que foi abordada uma maior variedade de casos. Os resultados obtidos em cada cenário tiveram sua viabilidade estudada de acordo com indicadores econômicos fornecidos pelo SAD, conforme será discutido posteriormente. A metodologia de análise seguiu os cenários compostos basicamente pelo balanço de massa descrito na tabela 4.

Tabela 4: Balanço de massa simplificado do processo

Item	Entrada	Saída	Unidade
Cana energia	1.384.000	-	ton/ano
Bagaço	359.840	-	ton/ano
Energia	-	154.200	MW/ano
Etanol hidratado	-	44,557,000.00	L/ano
Etanol anidro	-	30,800,000.00	L/ano

Fonte: Próprio autor

Inicialmente, o estudo abordou um cenário da implantação de uma usina produtora de etanol hidratado e anidro utilizando como matéria prima a cana energia. A inserção dos dados correspondentes a esse caso no SAD englobou todos os custos fixos e variáveis da implantação de uma usina alcooleira.

Outros dois cenários são da implantação de uma termelétrica para geração de energia, bem como a subestação para distribuição desta. Os cenários foram analisados variando a matéria prima, sendo elas: a cana energia, com um custo de R\$ 52,00/ton e o seu bagaço, o qual possui 26% de fibra do total de cana energia,

com um custo de R\$ 30,00/ton. Os elementos utilizados para a realização do projeto de viabilidade são os coeficientes que relacionam o consumo de matéria prima e a produção de energia, sendo eles: 8,975 ton/MW para a cana energia e 2,3336 ton/MW para o bagaço. Em ambos os cenários, a energia elétrica gerada é vendida por meio de leilões de energia por um preço de R\$ 254,00/MW.

Por fim, foi realizado o estudo da viabilidade da união de dois cenários anteriores, a produção de Etanol a partir da cana energia e a produção de energia a partir do bagaço da cana, a qual foi atribuída um preço de venda igual ao do cenário previamente descrito. Dentro desse estudo específico há a venda parcial da energia gerada e a utilização da mesma dentro da usina sucroalcooleira.

Em suma, todos os cenários abordados contribuíram para que, de posse dos indicadores econômicos obtidos em cada configuração, fossem atingidos os resultados a serem expostos. A tabela 5 apresenta uma síntese das configurações estudadas.

Tabela 5: Cenários analisados no estudo de viabilidade

Cenário	Atividade
C1	Produção de etanol utilizando cana energia
C2	Geração de energia utilizando cana energia
C3	Geração de energia utilizando bagaço de cana energia
C4	Produção de etanol associada à geração de energia

Fonte: Próprio autor

2.1.3. Indicadores Financeiros

O uso do sistema de apoio à decisão SAD, proporcionou a geração de um fluxo de caixa característico de cada configuração, de modo que a análise de viabilidade final foi feita através do uso de alguns indicadores econômicos apresentados, como o VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), o e o TRC (Tempo de Retorno do Capital). O primeiro indica basicamente a subtração do valor presente das receitas apresentadas no projeto pelo valor presente dos custos do mesmo. Dessa forma, a estabilidade e viabilidade estão associadas a um valor de VPL superior a zero (SILVA, 2005). No que diz respeito ao VPL, sabe-se que o mesmo se refere à uma análise de viabilidade a longo prazo, tendo em vista que representa uma analogia ao excesso de ganho do projeto

diante da oportunidade mais favorável de investimento (CANOVA, 2011).

A TIR é uma taxa, expressa em percentual, que iguala as entradas e saídas do fluxo de caixa, considerando a mesma periodicidade, ou seja, a mesma equação para o VPL a 0. Essa taxa está ligada diretamente à TMA (taxa mínima de atratividade), que representa um percentual mínimo que o projeto deve produzir para ser aceitável, de forma que se a TIR for maior percentualmente que a TMA, o projeto é viável, caso for menor, o mesmo se torna inviável e se a TIR for igual à TMA, existe um risco considerável em viabilizar o projeto (HARZER et al, 2018).

O último indicador, não menos importante, é a TRC, que também pode ser chamado de *Payback*. Essa taxa revela o tempo que o projeto vai suprir todo o investimento aplicado (COLPO et al, 2016).

3. RESULTADOS

3.1. Análise dos cenários

Na tabela 6 é possível verificar os resultados de viabilidade de cada cenário juntamente com seus principais indicadores financeiros. Posteriormente cada cenário será analisado detalhadamente.

Tabela 6: Resultados de viabilidade

Parâmetro	Investimentos	Custos Totais	Receitas	VPL (R\$)	TIR (%)	TRC (anos)	Resultado
C1	321.559.303	104.277.748,96	237.171.260	-38.164.628	8,04	13,04	inviável
C2	134.740.826	84.271.642,20	39.166.800	-299.932.952	-	11	inviável
C3	230.692.297	22.851.400,20	39.166.800	13.416.289	13,82	5,61	viável
C4	564.397.044	116.981.958,36	158.781.140	30.457.050	13,68	5,72	viável

Fonte: Próprio autor

3.1.1 Cenário 1: Produção de etanol utilizando cana energia

O cenário da produção de etanol utilizando a cana energia é inviável de acordo com os cálculos de viabilidade do software SAD, indicando um VPL negativo, a TIR menor que a TMA do projeto e um TRC acima do esperado.

Os custos variáveis e fixos referentes a esse cenário, bem como a representatividade aproximada dos mesmos em relação aos custos totais da indústria, estão dispostos na tabela 7. Nos custos variáveis constam a produção da

cana energia em ton/L de Álcool Hidratado e Anidro, os insumos e utilidades da usina para a produção de ambas às variedades de etanol, mão-de-obra, manutenção, impostos e frete. Os custos fixos são compostos pelos gastos administrativos e a depreciação das obras civis e equipamentos.

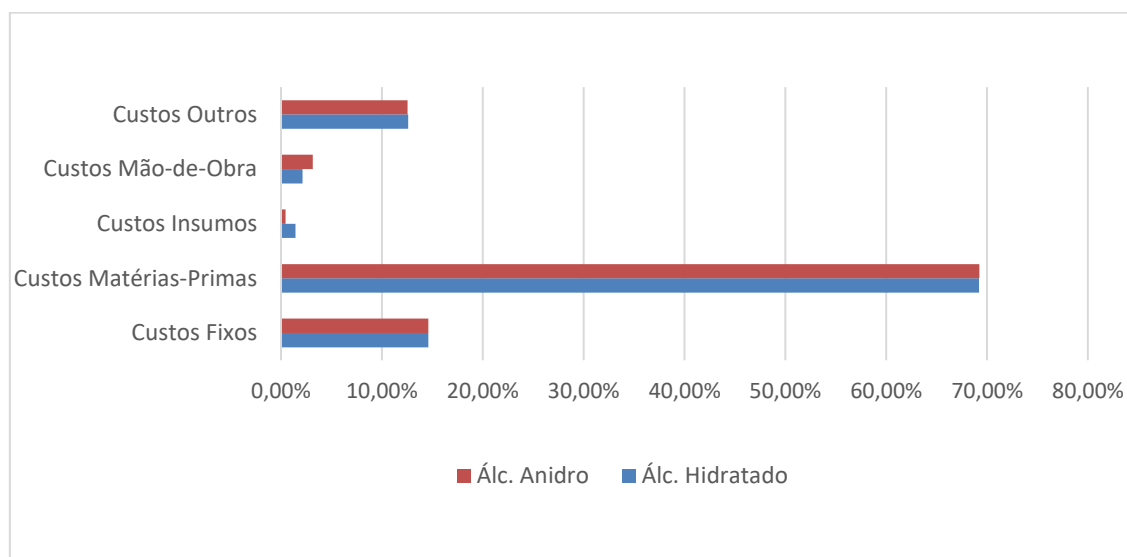
Tabela 7: Representatividade dos Custos Fixos e Custos Variáveis de acordo com os totais da indústria do cenário 1

Produto	Custos Variáveis	Representação (%)	Custos Fixos
Álc. Hidratado	53.299.277,38	60%	9.135.488,53
Álc. Anidro	35.599.119,32	40%	6.101.683,97
Total de Custos	88.898.396,70	100%	15.237.172,50

Fonte: Próprio autor

Os gráficos 2 e 3 apresentam a composição dos custos para a produção do álcool hidratado e anidro, respectivamente. Verifica-se que dos incorporados nos custos variáveis, o de maior representatividade são os custos com matérias primas, visto que para esse cenário tem-se somente o etanol como produto.

Gráfico 2: Custos de Álcool Anidro e Álcool Hidratado do cenário 1



Fonte: Próprio autor

3.1.2. Cenário 2: Geração de energia utilizando cana energia

O cenário da geração de energia utilizando cana energia é inviável de acordo com os cálculos de viabilidade do software SAD. Nesse, os valores dos

indicadores financeiros foram muito distantes da viabilidade do projeto, apresentando um valor de TIR tão baixo que não foi considerado e um ponto de equilíbrio insuficiente. Isso ocorreu devido ao não aproveitamento máximo da matéria prima. Ao queimar a cana energia inteira tem-se um poder calorífico mais baixo em comparação com o bagaço para geração de energia, além do custo para compra da cana inteira ser de R\$ 52,00, enquanto para compra do bagaço é de R\$ 30,00 e ademais não houve o aproveitamento do caldo para produção de etanol. Dessa forma, o cenário pode ser descartado como um possível projeto.

3.1.3. Cenário 3: Geração de energia utilizando bagaço da cana energia

O cenário de geração de energia a partir da queima do bagaço da cana energia, comprado de usinas sucroalcooleiras é viável de acordo com os cálculos dos indicadores financeiros do software SAD.

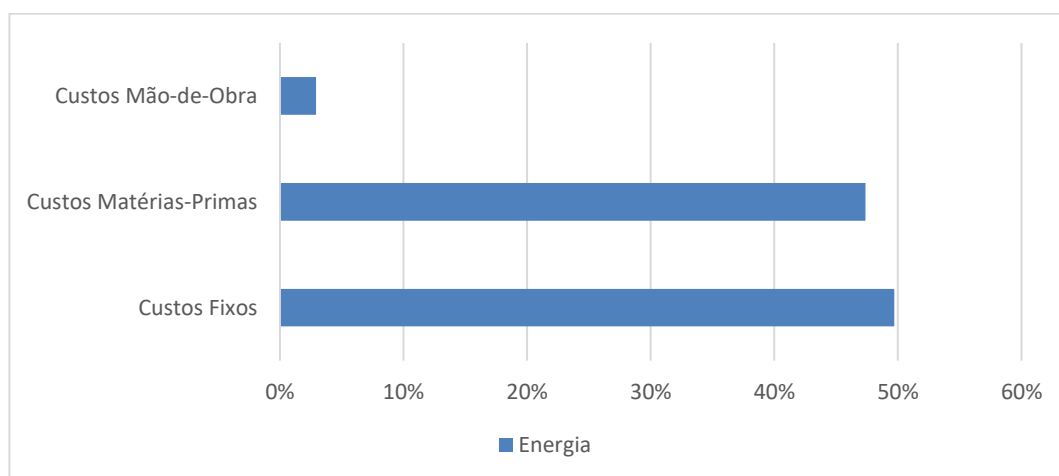
Os custos fixos e variáveis constam na tabela 8 e é possível analisar a distribuição desses custos de acordo com a gráfico 5. Em confronto com os cenários 1 e 2, o em questão apresenta os custos variáveis bastante inferiores. Isso ocorre devido ao baixo custo da matéria prima (bagaço da cana energia).

Tabela 8: Custos Fixos e Variáveis do cenário 3

Produto	Custos Variáveis	Custos Fixos
Energia	11.493.180,00	11.358.220,20

Fonte: Próprio autor

Gráfico 3: Custos Energia a partir do bagaço da cana energia



Fonte: Próprio autor

3.1.4. Cenário 4: Produção de etanol associada à geração de energia

O cenário de produção de etanol associada à geração de energia, utilizando a cana energia como matéria prima é viável de acordo com os cálculos dos indicadores financeiros do software SAD.

Os custos variáveis e fixos referentes a esse cenário, bem como a representatividade aproximada dos mesmos em relação aos custos totais da indústria, estão dispostos na tabela 9. Nos custos variáveis constam a produção da cana energia em ton/L de Álcool Hidratado e Anidro, os insumos e utilidades da usina para a produção de ambas às variedades de etanol, mão-de-obra, manutenção, impostos e frete, bem como a geração de energia elétrica, mão-de-obra e manutenção. Os custos fixos são compostos pelos gastos administrativos e a depreciação das obras civis e equipamentos.

É possível verificar que a representação dos custos da geração de energia em relação ao total de custos da indústria é irrelevante, já que utiliza como matéria prima o bagaço, que é um insumo gerado pela indústria de produção de etanol, ou seja, não existe custo na compra de matéria prima.

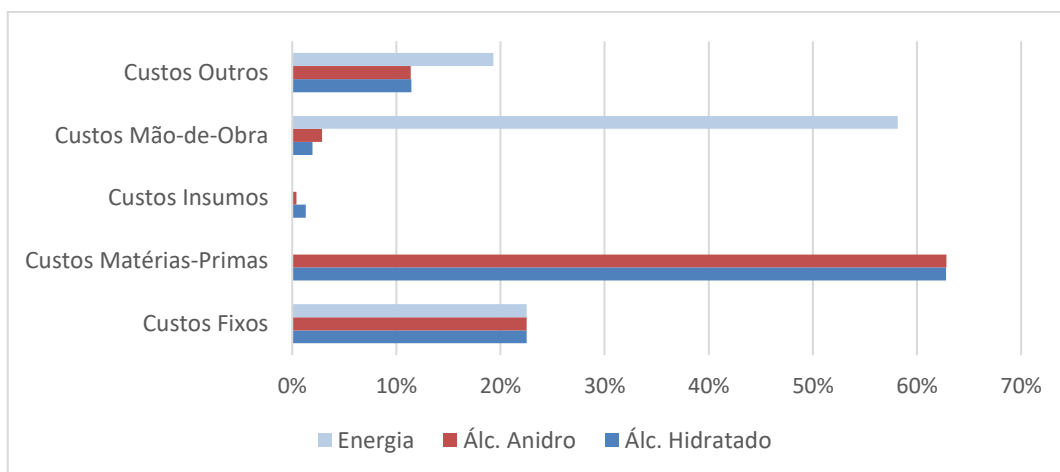
Tabela 9: Representatividade dos Custos Fixos e Custos Variáveis de acordo com os totais da indústria do cenário 4

Produto	Custos Variáveis	Representação (%)	Custos Fixos
Álc. Hidratado	53.299.277,38	59%	15.490.928,50
Álc. Anidro	35.599.119,32	39%	10.346.545,75
Energia	1.740.288,97	2%	505.798,45
Total de Custos	90.638.685,66	100%	26.343.272,70

Fonte: Próprio autor

Os gráficos 7, 8 e 9 apresentam a composição dos custos para a produção do álcool hidratado, anidro e energia respectivamente. Verifica-se que dos incorporados nos custos variáveis, o de maior representatividade para produção de álcool hidratado e anidro são os custos com matérias primas, já para energia o custo mais representativo é o de mão-de-obra

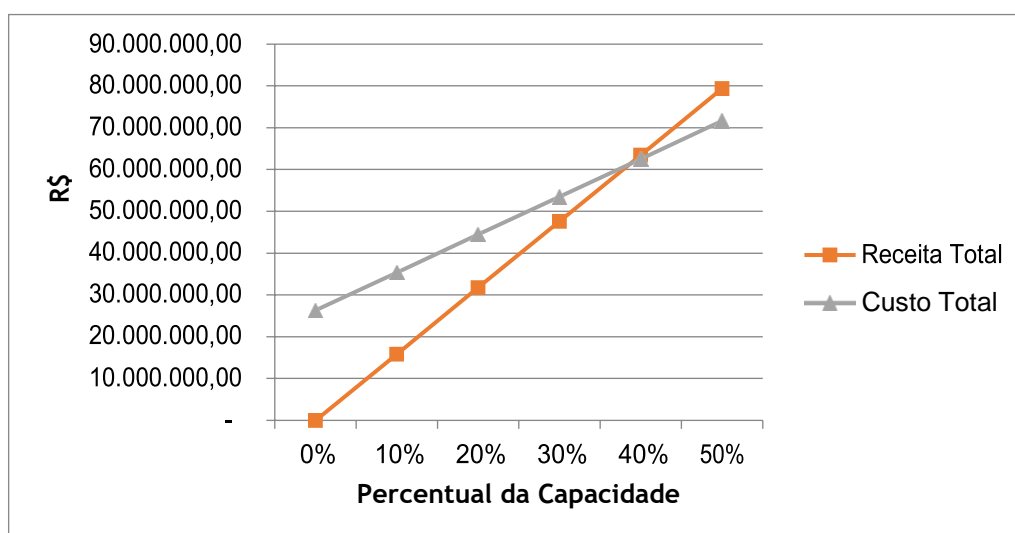
Gráfico 4: Custos de Álcool Anidro, Álcool Hidratado e Energia do cenário 4



Fonte: Próprio autor

No gráfico 5 é possível perceber o rápido crescimento da receita em relação aos custos, sendo que os mesmos se igualam em 40% da capacidade, com um valor de R\$ 62.598.746,96, o que é adequado para um cenário viável. O investimento inicial para produção de etanol associada à geração de energia é de R\$281.521.535,00, que de acordo com o fluxo de caixa é suprido em tempo hábil do projeto. A viabilidade desse cenário se deve ao baixo custo na geração de energia e alta receita na venda do etanol hidratado e anidro e da energia através de leilões, além da utilização da mesma na própria usina.

Gráfico 5: Ponto de equilíbrio da Unidade Industrial do cenário 4



Fonte: Próprio autor

3.2. Análises percentuais

Como no estudo alguns dos dados rendimentos e consumos são estimativas

com base na literatura publicada, faz necessário avaliar qual o impacto da melhoria de coeficientes técnicos no projeto. Assim, o resultado final de viabilidade pode ser modificado de inviável para viável nos cenários em estudo pela alteração de certos coeficientes. Dos cenários inviáveis (C1 e C2) apenas o cenário C1 apresentou uma mudança de viabilidade com a modificação de coeficientes, como será analisado posteriormente. Isso implica que a geração de energia através da queima da cana inteira é um cenário de inviabilidade imutável, o que o torna inabilitado como projeto.

3.3. Cenário C1 (reavaliado)

É analisado como indicador de viabilidade o VPL, como mostra a tabela 10. Verifica-se que uma pequena mudança em certos parâmetros, como o preço de produção da cana energia, uma redução no valor de R\$ 4,06 (de R\$ 52,00 para R\$ 47,94) e os coeficientes de rendimento consumo de cana por produção de etanol altera-se o resultado da viabilidade para um VPL maior que 0. As variáveis de viabilidade com a especificação “inviável” indicam que a alteração do parâmetro não resultou na modificação da viabilidade do cenário.

A modificação no caso do rendimento de produção de etanol, está relacionado à redução de consumo de cana de açúcar para a produção de etanol (Etanol Anidro de 0,0186450 ton. cana/litro para 0,016217 ton. cana/litro (-13,0%)) e Etanol Hidratado (de 0,01802 ton. cana/ litro para 0,01451 ton. cana/litro (-19,48%)). Isso considera, na verdade, um aumento de ATR (Açúcar Total Recuperável).

Tabela 10: Mudança de parâmetros para um VPL maior que 0

VPL			
PARÂMETRO	VARIÁVEL REAL	VARIÁVEL VIABILIDADE	UNIDADE
Preço cana	52,00	47,94	R\$/ton
Preço bagaço (venda)	30,00	-	R\$/ton
Preço energia	254,00	-	R\$/MW
CR - Cana/Etanol A	0,0186450	0,016217	ton/L
CR - Cana/Etanol H	0,01802	0,01451	ton/L
CR - Bagaço/Energia	2,34	inviável	ton/MW
CR - Cana/Energia	8,97	-	ton/MW
Subestação	3.000.000,00	-	R\$
Termelétrica	103.570.000,00	-	R\$
Linha de p. etanol	130.972.525,00	inviável	R\$
Custos totais (variáveis)	89.040.576,46	inviável	R\$
Custos totais (fixos)	14.081.972,50	inviável	R\$

Fonte: Próprio autor

4. CONCLUSÃO

O estudo dos cenários de produção de etanol e geração de energia, a partir da cana energia como matéria prima, identificou alguns projetos com viabilidade.

A viabilidade do cenário de produção de etanol e geração de energia, e inviabilidade de apenas produção de etanol ou apenas geração de energia com a queima da cana inteira, demonstra que cana energia em função da quantidade reduzida de ATR, ou mesmo da alta umidade inviabiliza ambos cenários. Porém demonstra que modelo integrado é viabilizado.

O cenário de geração de energia utilizando bagaço de cana energia é viável por consequência dos baixos custos com a matéria prima e baixa umidade, com maior poder calorífico e alta receita na venda de energia através de leilões.

Comparando os quatro cenários analisados é possível atestar que o C4 é o mais vantajoso, principalmente pelo fato de que independe de compra de bagaço de cana de outra usina.

Não se pode afirmar que as usinas de etanol não sejam viáveis,

entretanto é necessário encontrar a escala adequada para atingir o ponto de equilíbrio. Este ponto de equilíbrio também pode ser atingido, com a produção conjunta de açúcar.

5. REFERÊNCIAS

TOLMASQUIM, M. T., Guerreiro, A., & Gorini, R. 25 de Junho de 2007. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *SciELO*.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2017

Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2016. Ministério de Minas e Energia, junho 2017

Rejane Cecília Ramos, K. N. (2017). Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas. Revista Análise de indicadores do Agronegócio.

ANEEL. (s.d.). *BIG* - Banco de Informações de Geração. Acesso em 1 de junho de 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse.cfm?Classe=Biomassa>>

ANEEL. (2008). Revista Atlas de Energia elétrica do Brasil. Capítulo 4: Biomassa.

Oliveira, S. F. A.; (2014). Avaliação energética da biomassa de cana-de-açúcar em diferentes indústrias sucroenergéticas. São José Dos Campos, São Paulo. 81 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em 8 junho 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Histórico da operação. Acesso em: 8 junho 2018. Disponível em: <<http://www.ons.com.br/home>>.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A.; Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). Viçosa, Minas Gerais. 6p.

GONÇALVES, G. V., Vaz, R., Vaz, F., Mendonça, F., da Fontoura Júnior, J. A., & Castilho, E. (2017). Análise de custos, receitas e ponto de equilíbrio dos sistemas de produção de bezerros no Rio Grande do Sul. *Ciência Animal Brasileira*, 18. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/e-46932>>

SILVEIRA, Luís Cláudio Inácio da et al. Diversidade genética e coeficiente de parentesco entre genitores potenciais para obtenção de cultivares cana energia. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza, v. 46, n. 2, p. 358-368, junho 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-

66902015000200358&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 23 de junho de 2019.

ALVIN, K. R. de Toledo. Seleção de Progênies de cruzamentos entre *Saccharum spontaneum* e cana-de-açúcar para a produção de bioenergia. 2015. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal.

OLIVEIRA, A. F. Stella. Avaliação energética da biomassa do bagaço de cana-de-açúcar em diferentes indústrias sucroenergéticas. 2014. 80f. Dissertação de Mestrado Profissional em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SILVA. J. de Souza. Produção de Álcool na Fazenda – Equipamentos, Sistemas de Produção e Usos. Ed Aprenda Fácil Editora – AFE. 393p. 2011.

LEMOS. E. G. M. e STRADIOTTO N. R (orgs). Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação. São Paulo: Cultura Acadêmica, 981p. 2012.

MATSUOKA et al. Bioenergia de cana. Livro Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol. Tecnologias e Perspectivas, 1 ed., cap 20, p.547-577, editado por Santos, Fernando; Borém, Aluizio; Caldas, Celso, 2010.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Preço de Liquidação das diferenças. Disponível em: <
https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afLoop=877696842804642&_adf.ctrl-state=e15m21ihn_1#!%40%40%3F_afLoop%3D877696842804642%26_adf.ctrl-state%3De15m21ihn_5>. Acesso em: 5 de julho de 2019.

Anexo I – Orçamento Termelétrica

Dados:		
Caldeira		Unidade
. Capacidade	100	t/h
. Pressão do vapor	45	kgf/cm ²
. Temperatura do vapor	450	°C
Turbina a vapor		
. Potência instalada bruta	25,0	MW

Orçamento	
Equipamentos	R\$ milhões
. Equipamentos principais	78,07
. Equipamentos auxiliares	9,92
. Edificações e estruturas	15,58
. Frete	0,00
Subtotal	103,57
Serviços	
. Montagem eletromecânica	23,53
. Engenharia e comissionamento	18,29
. Serviço epe cista	16,80
Subtotal	58,61
Obras Civas	
. Obras civis e terraplenagem	9,17
Subtotal	9,17
Seguros	0
Total	171,35
R\$/MW instalado	6.854

Anexo II – Orçamento Subestação

	Entrada de linha 13,8KV BS	Conexão do Transformador 13,8KV BS
Mão de Obra		
Equipamento	1.159.620,04	1.041.944,43
Material		
Transformador trifásico 3MVA	800.000,00	

Módulo de infraestrutura geral (MIG)	Módulo de infraestrutura de Manobra (MIM)
3.909.609,81	209.085,05

e