



CENÁRIOS DE ADOÇÃO DA VARIEDADE CANA FLEX II E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS ECONÔMICOS NO SETOR SUCROENERGÉTICO

ADOPTION SCENARIOS FOR CANA FLEX II VARIETY AND EVALUATION OF ECONOMIC IMPACTS IN THE SUCROENERGETIC SECTOR

Hugo Bruno Correa Molinari

Embrapa Agroenergia
hugo.molinari@embrapa.br

Stephanie Karenina Bajay

Instituto PECEGE
bajay.sk@gmail.com

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci

Embrapa Agroenergia
Rosana.guiducci@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): 08 Pesquisa, inovação e extensão rural

Resumo

O estudo tem por objetivo avaliar o impacto econômico da adoção da variedade de cana desenvolvida pela Embrapa Agroenergia, denominada Cana Flex II. O foco da análise é na etapa industrial, considerando três produtos principais: açúcar, etanol de primeira geração (E1G) e etanol de segunda geração (E2G). A partir de resultados da pesquisa sobre rendimentos produtivos da Cana Flex II em comparação com uma variedade convencional, estimou-se quantidade produzida e rendas adicionais em cenários de adoção paulatina da variedade em 10 anos. Os resultados mostraram ganhos econômicos significativos, com rendas adicionais de R\$ 937,7 milhões (cenário moderado) e R\$ 1.875,4 milhões (cenário otimista), no décimo ano. Açúcar foi o produto mais rentável, nas condições de preços analisadas, sendo superado pelo etanol se considerado conjuntamente E1G e E2G. Observou-se que as rendas adicionais obtidas são suficientes para viabilizar investimentos de R\$ 2 bilhões em infraestrutura, nos dois cenários. Conclui-se que a dinâmica econômica do setor sucroenergético no Brasil pode ser fortalecida com a incorporação de biotecnologias, especialmente novas variedades de cana capazes de elevar a eficiência energética na etapa de processamento industrial.

Palavras-chave: Etanol de segunda geração, viabilidade econômica, inovação tecnológica.

Abstract

This study aims to assess the economic impact of adopting a sugarcane variety developed by Embrapa Agroenergia, called Cana Flex II. The focus of the analysis is on the industrial phase, considering three main products: sugar production, first generation bioethanol (E1G) and second generation bioethanol (E2G). Based on the results of the research on Cana Flex II yields compared to a conventional variety, additional production and income was estimated in scenarios of gradual adoption of Cana Flex II in 10 years. The results showed significant economic gains, with additional income of R \$ 937.7 million (moderate scenario) and R \$ 1,875.4 million (optimistic scenario), in the tenth year. Sugar was the most profitable product, under the analyzed price conditions, being surpassed by ethanol when considered together E1G and E2G. It was observed that the additional income obtained is sufficient to enable R \$ 2 billion investments in infrastructure in both scenarios. These results show that the economic dynamics of the sugar-energy sector in Brazil can be strengthened with the incorporation of biotechnologies, especially new varieties of cane capable of increasing energy efficiency in the industrial processing stage.

Key words: Second generation ethanol, economic viability, technological innovation



1. Introdução

O Brasil ocupa posição de destaque quando se compara a proporção das fontes renováveis em sua matriz energética com a de países que compõem a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e com a média mundial (MME, 2020) (Figura 1). A cadeia agroindustrial do açúcar e do etanol, desde a criação do Proálcool, recebeu diversos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e utilização de tecnologia. O principal instrumento desta política foi a disponibilidade de crédito, que resultou em expansão de área agrícola, capacidade de processamento e estruturação da cadeia (RODRIGUES e ROSS, 2020).

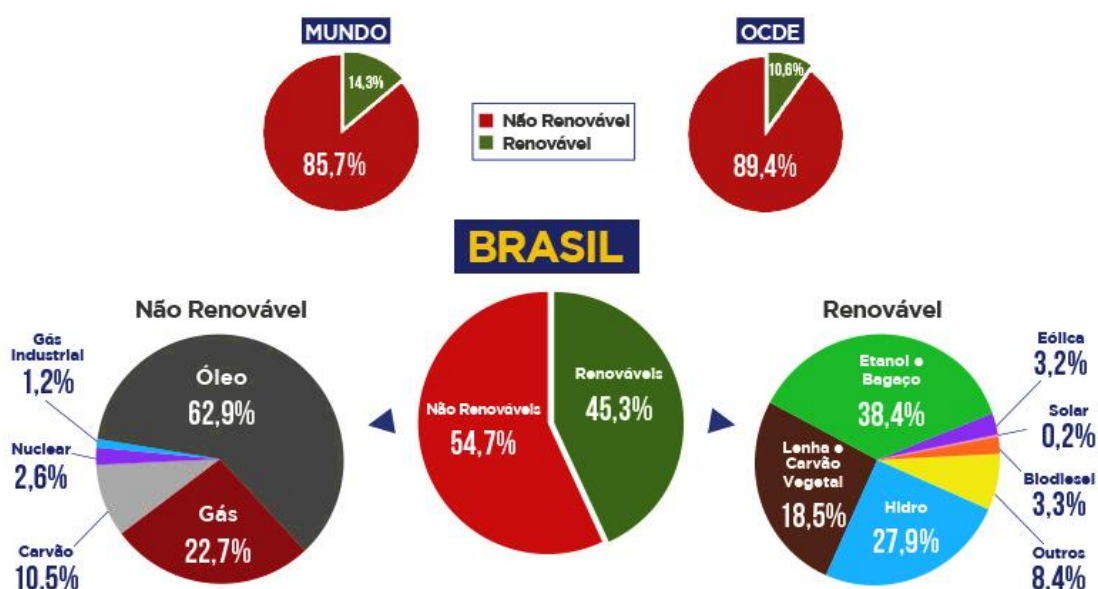


Figura 1. Distribuição percentual da matriz energética brasileira, OECD e mundo. Fonte: Ministério de Minas e Energia (2020).

Como consequência destes investimentos, o Brasil se tornou o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar e o segundo maior produtor de etanol, perdendo somente para os Estados Unidos. No mercado internacional, é responsável por mais da metade de todo o açúcar comercializado, além de ser o maior exportador de etanol atualmente. Em 2020/2021 a produção mundial de açúcar estimada é de 188.077 mil toneladas, sendo o Brasil responsável por 39.480 mil toneladas, o que equivale a 21% da produção mundial (USDA, 2020). Na safra 2019/2020 o Brasil produziu 29.795,7 mil toneladas de açúcar, sendo 2.909,0 mil toneladas na região Norte/Nordeste (9,76%) e 26.886,7 no Centro-Sul (90,24%).

As condições de mercado e as estimativas da safra de cana-de-açúcar 2020/2021 apontam que tanto a produção quanto a exportação de açúcar devem aumentar no mundo. Estima-se que 45,8% da safra na região Centro-Sul e 52,8% na região Norte/Nordeste sejam destinadas à produção de 39,5 milhões de toneladas de açúcar em 2021 (CONAB, 2020). Os maiores produtores mundiais neste ano foram a Índia, com 33,07 milhões de toneladas (18,5%), seguida pelo Brasil, 29,5 milhões de toneladas (16,5%) e União Europeia com 18,175 milhões de toneladas (10,2%) (USDA, 2020).



O crescimento estimado da produção mundial de açúcar é de 13% em relação à safra anterior, enquanto, no Brasil, o aumento esperado é 32% (USDA, 2020). Com a perda de competitividade do etanol, consequência da baixa do petróleo e da pandemia de Covid-19 ao longo de 2020, a produção no Brasil foi direcionada para açúcar. As exportações deverão se elevar em 45%, passando de 18,9 milhões de toneladas, em 2019, (UNICA, 2020) para 28,85 milhões de toneladas, em 2020 (USDA, 2020). O aumento das exportações brasileiras de açúcar é estimulado, sobretudo, pela redução na oferta mundial devido às adversidades climáticas em importantes países produtores da Ásia e pela desvalorização cambial. De acordo com dados do Ministério da Economia, de abril a julho de 2020, o aumento nos preços de exportação, em média, foi de 63% em dólar e 127% em reais. Os principais destinos do açúcar bruto são os países asiáticos, além de nações que possuem polos de refino, como Arábia Saudita e Argélia.

O que sustentou esta expansão foi o desenvolvimento tecnológico ao longo do tempo. Por décadas, diversos grupos de pesquisa no mundo dedicaram esforços em pesquisa básica para ter uma melhor compreensão acerca do metabolismo de açúcar vegetal e seu controle durante o desenvolvimento em espécies modelo e, principalmente, nas culturas da beterraba açucareira e cana-de-açúcar, na tentativa de obterem sucesso prático no desenvolvimento de genótipos com maior rendimento de açúcares nos seus respectivos tecidos de reserva (PATRICK, et al., 2013; RUAN, 2014; WANG et al., 2017). Ao longo destas décadas, diversos estudos mostraram que o metabolismo de açúcar é altamente regulado, revelando a integração de várias enzimas e vias metabólicas nos processos de transporte e acúmulo (WANG et al., 2017). Embora essa complexidade metabólica possa desencorajar ações de pesquisa para aumento do acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar, no Brasil, a Embrapa Agroenergia vem estudando genes relacionados às acil transferases, enzimas responsáveis por reações de acilação na parede celular (DE SOUZA et al., 2018; DE SOUZA et al., 2019; MOTA et al., 2020). O grupo de pesquisa da Embrapa identificou e demonstrou pela primeira vez (SAMPAIO et al., 2018) que um destes genes (BAHD05), não relacionado diretamente com o metabolismo da sacarose, pode ser um ativo biotecnológico promissor e viável para aumentar a produção desse açúcar em gramíneas, em especial nas espécies exploradas comercialmente e cujo principal produto é a sacarose e/ou seus derivados, como é o caso da cana-de-açúcar.

1.1 Desafios da inovação tecnológica em cana-de-açúcar

A adoção de uma dada variedade se dá por diferentes critérios, tais como, adaptabilidade e estabilidade aos diferentes ambientes de produção, ou resistência às principais pragas e doenças. Entretanto, a incorporação de tecnologias disruptivas pode impactar fortemente essas condições. Neste sentido, o desenvolvimento e adoção de variedades geneticamente modificadas, com alto potencial produtivo, protegidas por genes de eficácia comprovada, oferece oportunidade única para criação de valor para o setor sucroenergético.

Nos últimos 40 anos, um dos grandes desafios tecnológicos envolvendo espécies vegetais utilizadas como fonte de açúcar, tais como a beterraba açucareira (*Beta vulgaris*), o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) e, principalmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), tem sido o de incrementar a produção de sacarose nessas espécies, tanto por melhoramento genético clássico, quanto por meio de ferramentas biotecnológicas, como a produção de plantas geneticamente modificadas.



A principal razão relacionada à dificuldade de se aumentar a concentração de sacarose nos tecidos vegetais, principalmente em cana-de-açúcar, é a regulação finamente controlada da via de produção, acúmulo e mobilização de sacarose na planta. Esta regulação depende da relação fonte/dreno do tecido de armazenamento (colmos) que estimula o aumento do suprimento provido pelo tecido fotossinteticamente ativo (folhas) e, principalmente, a sinalização negativa (*feedback* negativo) exercida pela sacarose nas folhas. Assim, o acúmulo do açúcar nas folhas induz uma redução nos níveis fotossintéticos da planta com consequente redução na produção de açúcares. O aumento do acúmulo de sacarose no colmo pode, portanto, exigir uma maior supressão dos mecanismos de sinalização das folhas da cana-de-açúcar que possivelmente já são parcialmente insensíveis ao açúcar, para elevar o limite da fotossíntese foliar (McCORMICK et al., 2009).

O grande desafio biotecnológico visando o aumento na produção de sacarose em plantas, com destaque para a cana-de-açúcar, consiste em incrementar a transformação do carbono fixado fotossinteticamente em sacarose armazenada, uma vez que este é um processo complexo que envolve regulação osmótica, sensores de açúcar, clivagem de sacarose e regulação de *feedback* da fotossíntese (ARRUDA, 2012). Aumentar o teor de sacarose em plantas acumuladoras de açúcar representa um dos grandes desafios para a agricultura moderna.

A evolução do ganho de produtividade comparativo entre biomassa e sacarose em cana-de-açúcar no Brasil, em um período de 35 anos, entre os anos de 1975 a 2010, aumentou 1,89% (média ao ano) em produtividade e 0,98% o teor de açúcar. Considerando apenas os últimos 10 anos do período destacado, o aumento foi de 1,2% e 0,2% (média ao ano), respectivamente. Uma avaliação recente dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar indica que os aumentos na produção de açúcar estão se tornando menos pronunciados, no futuro, acredita-se que os aumentos de produtividade serão ainda menores (DAL-BIANCO et al., 2012).

Considerando uma abordagem biotecnológica diferente para aumentar a produção de açúcar em espécies vegetais, através da modificação genética e obtenção de plantas transgênicas, várias estratégias se concentram na alteração dos níveis de expressão de diferentes enzimas em metabolismo de carboidratos, incluindo atividade de invertase em diferentes compartimentos celulares (MA et al., 2000), atividade da pirofosfato:frutose 6-fosfato 1-fosfotransferase (GROENEWALD e BOTHA, 2008), entre outros.

Com o objetivo de aumentar o teor de sacarose e rendimento de açúcar, vários estudos têm se concentrado em aumentar a síntese de sacarose, reduzindo sua hidrólise ou convertendo-a em outras formas de açúcar para melhorar o seu rendimento total (Wang et al., 2017). No entanto, essas tentativas de melhorar a produção de açúcar em plantas de cana-de-açúcar geneticamente modificadas cultivadas em campo não avançaram devido às complexas interações durante o metabolismo da sacarose e à regulação osmótica dos açúcares nas células do parênquima de armazenamento (WANG et al., 2017).

Algumas abordagens biotecnológicas de modificação genética visando aumentar a produção de açúcares em cana-de-açúcar tem como alvo os genes relacionados à atividade da enzima sacarose fosfato sintase (SPS), uma enzima reguladora chave para a síntese de sacarose. Contudo a superexpressão da SPS na cana-de-açúcar não aumentou o rendimento de sacarose (VICKERS et al., 2005). Outra abordagem que se mostrou promissora em escala de bancada e de casa de vegetação foi a produção de plantas de cana-de-açúcar transgênica com o gene que codifica a enzima sacarose isomerase bacteriana (SI), responsável pela conversão da sacarose em isomaltulose na cana-de-açúcar, as quais apresentaram teores de açúcar duas



vezes maiores que o controle não modificado, bem como um aumento da fotossíntese, do transporte de sacarose e da força do dreno (WU e BIRCH., 2007; MUDGE et al., 2013). No entanto, os teores de açúcar total na cana-de-açúcar transgênica expressando a enzima SI não aumentaram em condições de campo (BASNAYAKE et al., 2012).

A Cana Flex II, objeto de análise deste estudo, é fruto de um trabalho de pesquisa de mais de 10 anos cujo principal diferencial é oferecer um ativo biotecnológico à cultura da cana-de-açúcar. Os incrementos da ordem de 15% e 200% em açúcares (principalmente sacarose) nos colmos e folhas, respectivamente, e aumento de 12% na sacarificação da biomassa, tornam essa tecnologia altamente desejável para ser incorporada no pipeline de empresas nacionais ou internacionais, além de agregar valor à outros *traits* como resistência à insetos-praga e herbicidas.

Este ativo biotecnológico desenvolvido pela Embrapa traz, além do incremento na produtividade, o que acarreta em um aumento de competitividade da cultura, a possibilidade de ganhos agrônômicos e diminuição dos custos de produção por hectare, se tornando uma cultura rentável em relação a outras. Outro importante aspecto a ser considerado na implementação desta nova tecnologia é a sustentabilidade na produção, fator fundamental nas atividades agrícolas modernas. Incrementos em pesquisa e inovação no setor canavieiro, como os descritos acima, representam desenvolvimento de novas soluções para lidar com as consequências das mudanças climáticas, soluções para alavancar a geração de energias renováveis, além de representarem ganhos socioeconômicos na vida do produtor de cana.

Neste contexto, o presente estudo surge como uma proposta de avaliar o retorno econômico de investimento no desenvolvimento de tecnologias que possam agregar eficiência produtiva às usinas de cana-de-açúcar. O potencial de aplicação dessa estratégia biotecnológica em cana-de-açúcar e em outras gramíneas pode representar um aumento expressivo na produção de sacarose com consequente impacto econômico e ambiental positivo sobre toda a cadeia produtiva.

O objetivo deste estudo foi analisar o impacto econômico em cenários de adoção de variedade de cana-de-açúcar geneticamente modificada, Cana Flex II, desenvolvida pela Embrapa Agroenergia, e a viabilidade econômica de investimento em expansão da capacidade produtiva de usina padrão de cana-de-açúcar frente aos ganhos econômicos esperados. Para tanto, o trabalho está organizado em 4 partes: introdução, material e métodos, resultados e, conclusão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

- Diferencial de produção da Cana Flex II

A Cana Flex II apresenta, para a fase agrícola, as mesmas características e desempenho da variedade convencional da qual se originou (SP80-3280), com o diferencial de produzir até 15% a mais de sacarose nos colmos e até 200% a mais de sacarose nas folhas (dados não publicados). Na fase industrial, esperam-se aumentos proporcionais de rendimento para a produção de açúcar e de etanol. Desta forma, a variedade geneticamente modificada pode apresentar um diferencial por conter mais açúcares livres nas folhas para ser utilizado no processamento da palhada destinada à produção de etanol de segunda geração (E2G).

Embora o potencial para a produção de E2G seja grande, o custo de produção ainda é considerado relativamente elevado nas condições atuais de mercado, o que no momento inviabiliza economicamente a produção em escala comercial. É neste contexto que o produto



Cana Flex II pode se tornar uma inovação disruptiva para a indústria sucroenergética no Brasil. O incremento em até 12% na concentração final de glicose a partir do tratamento da biomassa (palhada ou bagaço), com base em resultados de pesquisa descritos detalhadamente em Mota et al. (2020), altera significativamente os coeficientes técnicos de produção do E2G. Esse incremento pode estar associado ao aumento de eficiência na disponibilização de celulose nas etapas anteriores à hidrólise enzimática (por exemplo, redução da cristalinidade do material e maior facilidade de remoção de hemicelulose e lignina no pré-tratamento) e ao aumento de conversão de celulose à glicose na hidrólise enzimática. Tais resultados contribuem para melhorar o desempenho econômico do E2G, o que é ainda reforçado pelo estímulo advindo do Programa Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio.

Para a presente análise, foi estimada a produção de etanol anidro de segunda geração com base em oito coeficientes técnicos de produção padrão para bagaço de uma variedade de cana-de-açúcar convencional:

- i. 50% de umidade no bagaço (teor padrão de umidade de bagaço enviado à caldeira);
- ii. 38,2% a massa de celulose com base em composição média determinada por metodologia do National Renewable Energy Laboratory (NREL) para diferentes bagaços de cana-de-açúcar, em base seca;
- iii. 90% de eficiência de disponibilização de celulose, descontadas as perdas;
- iv. Coeficiente estequiométrico de conversão de celulose à glicose, em massa, de 1,1;
- v. 85% de conversão na etapa de hidrólise enzimática;
- vi. Coeficiente estequiométrico de conversão de glicose à etanol, em massa, de 0,511;
- vii. 92% de rendimento na etapa de fermentação, coeficiente usual de fermentação alcoólica industrial;
- viii. Densidade do etanol de 0,789 Kg/L, em cenários que estabelecem percentuais de destinação da palhada para a produção de E2G.

- Cenários de produção de cana-de-açúcar

Para a análise de viabilidade econômica da Cana Flex II foram propostos dois cenários de adoção da tecnologia, um otimista e um conservador, como descrito abaixo:

- i. Cenário otimista: expansão gradual da adoção da Cana Flex II de 1% ao ano, atingindo 10% da produção observada na safra 2020/2021 de cana-de-açúcar no Brasil, ao final de 10 anos.
- ii. Cenário conservador: a taxa de expansão da Cana Flex II é de 0,5% ao ano, chegando a 5% da produção de cana observada na safra 2020/2021 ao final de 10 anos.

Considera-se que a Cana Flex II vai responder por 5 ou 10% da safra 2020/2021 em 10 anos, o que é razoável, uma vez que atualmente existem 3 variedades (RB966928, RB867515 e CTC4) que respondem juntas por 43,91% do mercado, segundo censo varietal lançado em 2020 pela RIDESA/UFSCar para os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (RIDESA/UFSCar, 2020).

Em ambos os cenários, assume-se que uma usina padrão irá processar essa produção, destinando 50% da cana para produção de açúcar, 50% para a produção de etanol de primeira geração e 60% da palha e do bagaço de cana para a produção de E2G na usina.

- Análise de investimento



A análise de investimento em longo prazo foi realizada por meio de fluxo de caixa, tendo como objetivo avaliar se os ganhos adicionais com a adoção da tecnologia nos cenários propostos anteriormente remuneraram um investimento da ordem de R\$ 2 bilhões (cenário otimista) e investimento em 2 aportes de R\$ 1 bilhão (cenário moderado), ambos para expandir a capacidade de infraestrutura e processamento na usina, acrescidos de despesas anuais de manutenção de R\$ 100 milhões. A taxa mínima de atratividade utilizada é de 10% a.a. e a taxa de juros para a remuneração do capital foi de 6% a.a.

O período do investimento é de 10 anos. No cenário otimista todo o investimento é realizado no ano 0, enquanto no cenário conservador são investidas duas parcelas, a primeira no ano 0 e a segunda no ano 5. Nos 10 anos de produção, o fluxo de receita refere-se ao ganho diferencial da tecnologia, obtido na produção de açúcar, etanol 1G e E2G, todos derivados do diferencial técnico da cultivar Cana Flex II em relação à uma variedade de cana não modificada.

Os indicadores econômicos de viabilidade financeira utilizados neste estudo foram: Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anualizado (VPLA) e *Payback* descontado, que serão detalhados abaixo.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um dos indicadores de análise mais utilizados pelo mercado. Com ela, é possível saber, de forma clara e direta, se determinado investimento será bom ou ruim no futuro. É um indicador que, quando aplicado ao fluxo de caixa, torna os valores de retorno iguais às despesas trazidas a valor presente (DAVIS e JOHNSON, 1987). Assim, a TIR representa a taxa de desconto que iguala a soma dos fluxos de caixa ao valor do investimento.

onde:

$f(r)$ = soma dos fluxos de caixa;

r = taxa interna de retorno;

C = valor do investimento.

Considera-se viável o investimento que apresentar taxa interna de retorno superior à taxa mínima de atratividade do mercado.

A Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) serve, assim como a Taxa Interna de Retorno (TIR), para avaliar a viabilidade econômica de um determinado projeto. Logo, essa rentabilidade encontrada é usada para auxiliar no processo de tomada de decisão de um investimento. Entretanto, diferentemente da TIR, a TIRM leva em conta o custo de capital da empresa. Dessa forma, ela consegue se aproximar mais da realidade financeira do projeto analisado. A TIRM é um método de análise da viabilidade que traz os fluxos de caixa negativos a valor presente líquido; e que leva os fluxos de caixa positivos para valor futuro. Implícito no cálculo da TIR está o pressuposto de que tanto os investimentos (fluxos de caixa negativos) quanto os lucros (fluxos de caixa positivos) caminham no tempo pela própria TIR, ou seja, são financiados e reinvestidos, respectivamente, à taxa interna de retorno.

Pode-se utilizar a fórmula tradicional de juros compostos para calcular a TIRM, já que há apenas um valor positivo e um valor negativo, onde VF é o valor futuro dos fluxos positivos e VP o valor presente dos fluxos negativos.

A interpretação da TIRM é similar à da TIR no que se refere à viabilidade ou não do projeto. Quando o resultado obtido for maior ou igual a taxa mínima de atratividade (mínima remuneração esperada pelo investimento), diz-se que o projeto é viável.



O Valor Presente Líquido (VPL) é um método simples e prático de ser utilizado e, por isso, é bastante comum o seu uso nas análises de investimentos para tomadas de decisão. É um método que se baseia em analisar projetos onde o investimento tenha maiores resultados para os investidores do que o seu custo. Sendo assim, valores positivos de VPL em uma análise de investimento tornam o projeto atrativo e viável (SAMANEZ, 2010). O valor presente líquido corresponde ao somatório dos fluxos de rendimentos esperados para cada período ($n= 1, 2, \dots, N$), trazidos para valores do período zero, por uma taxa de desconto equivalente à taxa mínima de atratividade (TMA) do mercado, subtraído do valor do investimento inicial realizado no período 0.

onde:

C_0 = Investimento inicial no período 0;

a_n = Fluxo de rendimento no período n ;

TMA = Taxa mínima de atratividade;

n = período, onde $n=1,2, \dots, N$.

Para que o investimento seja considerado viável, o fluxo esperado de rendimentos deve ser superior ao valor do investimento que o gerou. Em outras palavras, o VPL tem que ser maior que zero.

O VPLA, também denominado Valor Uniforme Líquido ou Valor Anual Uniforme Equivalente, consiste em distribuir o VPL ao longo da vida útil do projeto, utilizando uma taxa de juros correspondente ao custo de oportunidade do capital (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2000).

Ao contrário do VPL tradicional, que fornece um resultado líquido do fluxo de caixa para o projeto (período “ n ”), expresso em moeda do ano zero, o VPLA fornece um resultado equivalente, expresso em bases periódicas, por exemplo, base anual (KASSAI et al., 2005).

O cálculo do VPLA pode ser feito em planilha eletrônica, utilizando a função pagamento, da seguinte forma:

=PGTO ($r; n; -VPL$)

Onde:

r = Taxa de juros a 6%;

n = período em “ n ” anos;

VPL = Valor presente líquido.

O *Payback* refere-se ao período de tempo necessário para a recuperação de um investimento, ou seja, refere-se ao tempo necessário para que os fluxos de caixa negativos (investimentos) sejam anulados pelos fluxos de caixa positivos (lucros). O *Payback* descontado é uma análise mais sofisticada por considerar o valor do dinheiro no tempo. Nele o período de recuperação do capital é definido levando em consideração fluxos de caixa descontados a uma taxa de juros (taxa mínima de atratividade) (BRUNI, 2008). Para analisar um investimento por meio desse indicador, compara-se o resultado do *Payback* descontado com o período máximo definido como parâmetro de atratividade. Se o *Payback* exceder o limite estipulado, o investimento tem indicativo de rejeição. Quando for inferior ao período padrão estabelecido, há indicação para a sua aceitação. Também pode ser interpretado como



uma medida de risco. Quanto maior o período de tempo para se recuperar o capital investido, maior o risco.

- Dados utilizados

Nos cálculos de produção e valores da produção foram utilizados os dados mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes técnicos de produção e preços de referência

Coeficiente/preço	Valor de referência	Fonte
ATR médio Cana Flex II (Kg/ton)	160,1	Dados da pesquisa
ATR médio Convencional (Kg/ton)	139,2	Conab
Preço etanol anidro (R\$/m ³)	2.170,60	Cepea/Esalq
Preço etanol hidratado (R\$/litros)	1,81	Cepea/Esalq
Preço açúcar cristal (R\$/ton)	1.513,4	Consecana
Kg açúcar/ton cana	118,0	Novacana
Litros etanol hidratado/ton cana	85,0	Novacana
Litros etanol/ton ATR	704,5	UDOP
Rendimento E2G – Cana Flex II	1,12	Dados da pesquisa
Rendimento bagaço/ton cana moída	0,28	Conab

Os principais indicadores técnicos agroindustriais empregados nos cálculos de produção são valores médios da safra 2019/2020 obtidos pelas fontes indicadas na Tabela 1. Para calcular o ATR médio da Cana Flex II foi considerado o valor médio de ATR por tonelada de cana de 139,2 Kg referente a região Centro-Sul. O valor de 160,1 Kg de ATR por tonelada da Cana Flex II refere-se ao incremento de 15% conferido pela tecnologia. Para calcular o rendimento de E2G da Cana Flex II, considerou-se o potencial de liberação de 12% a mais de glicose na biomassa pré-tratada em ensaio de sacarificação (dados não publicados). Os demais parâmetros tiveram suas unidades de massa e volume ajustadas para realização dos cálculos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Produção

A Figura 2 apresenta as estimativas de produção de cana-de-açúcar, em mil toneladas, no cenário otimista, em que a taxa de adoção anual da Cana Flex II é de 1% chegando a 10% do mercado ao final de 10 anos, e no cenário moderado, com taxa anual de adoção da Cana Flex II de 0,5%, atingindo 5% do mercado ao final de 10 anos. Observa-se, em ambos os cenários, grande potencial de produção de cana-de-açúcar, podendo chegar, no décimo ano, a 32,1 milhões de toneladas produzidas e 64,2 milhões de toneladas, nos respectivos cenários.

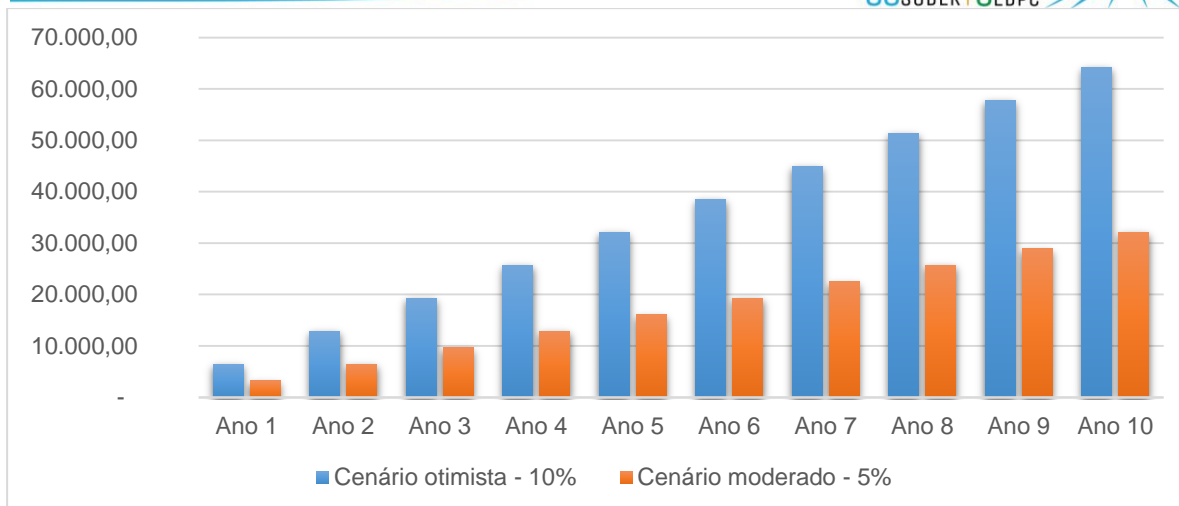


Figura 2 – Produção de cana-de-açúcar, em toneladas. Fonte: elaborado pelo autor.

Com base na produção de cana-de-açúcar na safra 2020/2021, estimou-se os volumes de bagaço, palha e biomassa total (bagaço + palha). A produção de biomassa com a variedade de Cana Flex II, que estaria disponível no Brasil para gerar etanol de segunda geração chega a 228.312,70 mil toneladas, no décimo ano, sendo 17.695,44 mil toneladas de bagaço e 10.617,26 mil toneladas de palha (Figura 3).

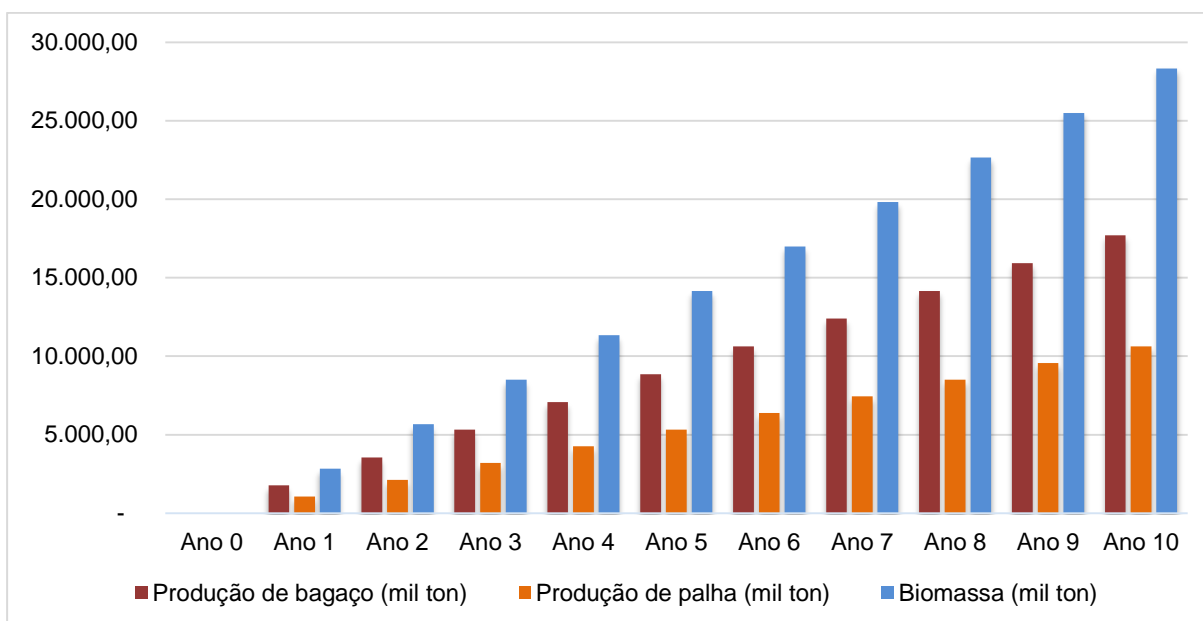


Figura 3 – Produção de bagaço, palha e biomassa total, em mil toneladas.

Fonte: elaborado pelos autores.

Neste estudo, considerou-se que 60% da biomassa de cana possam ser destinadas à produção de E2G. No entanto, por disponibilizar somente de coeficientes técnicos de produção para bagaço de cana-de-açúcar, as estimativas de ganhos em produção de E2G foram feitas exclusivamente para esta biomassa. Portanto, pode-se dizer que o diferencial para E2G está subestimado, pois não inclui a produção que poderia ser obtida com o



processamento da palhada, que, no caso da Cana Flex II, tem o diferencial de acumular 200% a mais de açúcares nas folhas, podendo agregar ainda mais valor ao setor sucroenergético.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores calculados de produção de açúcar, etanol 1G hidratado e etanol 2G anidro, considerando a cana convencional e o diferencial apresentado pela Cana Flex II, em um cenário otimista. Podem-se observar ganhos diferenciais com a Cana Flex II da ordem de 56,82 mil toneladas de açúcar, 40.931,95 mil litros de E1G e 12,65 mil m³ de E2G, já no primeiro ano de adoção. No décimo ano, os ganhos chegam a 454,58 mil toneladas de açúcar, 327.455,53 mil litros de E1G e 101,28 mil m³.



Tabela 2 – Diferencial tecnológico da Cana Flex II em quantidade produzida de açúcar, E1G e E2G, cenário otimista

An o	Açúcar (1000 t)			Etanol 1G hidratado (1000 l)			Etanol 2G anidro (1000 m ³)		
	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II
	A	B	C=B-A	D	E	F=E-D	G	H	I=H-G
1	378,82	435,64	56,82	272.879,61	313.811,56	40.931,94	105,50	118,15	12,66
2	757,64	871,29	113,65	545.759,23	627.623,11	81.863,88	210,99	236,31	25,32
3	1.136,46	1.306,93	170,47	818.638,84	941.434,67	122.795,83	316,49	354,46	37,98
4	1.515,28	1.742,58	227,29	1.091.518,45	1.255.246,22	163.727,77	421,98	472,62	50,64
5	1.894,11	2.178,22	284,12	1.364.398,07	1.569.057,78	204.659,71	527,48	590,77	63,30
6	2.272,93	2.613,87	340,94	1.637.277,68	1.882.869,33	245.591,65	632,97	708,93	75,96
7	2.651,75	3.049,51	397,76	1.910.157,29	2.196.680,89	286.523,59	738,47	827,08	88,62
8	3.030,57	3.485,15	454,59	2.183.036,91	2.510.492,44	327.455,54	843,96	945,24	101,28
9	3.409,39	3.920,80	511,41	2.455.916,52	2.824.304,00	368.387,48	949,46	1.063,40	113,94
10	3.788,21	4.356,44	568,23	2.728.796,14	3.138.115,56	409.319,42	1.054,96	1.181,55	126,59

Fonte: elaborado pelos autores.



Tabela 3 – Diferencial tecnológico da Cana Flex II em quantidade produzida de açúcar, E1G e E2G, cenário moderado

Ano	Açúcar (1000 t)			Etanol 1G hidratado (1000 l)			Etanol 2G anidro (1000 m ³)		
	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Diferencial Cana Flex II
	A	B	C=B-A	D	E	F=E-D	G	H	I=H-G
1	189,41	217,82	28,41	136.439,81	156.905,78	20.465,97	52,75	59,08	6,33
2	378,82	435,64	56,82	272.879,61	313.811,56	40.931,95	105,49	118,15	12,66
3	568,23	653,47	85,24	409.319,42	470.717,33	61.397,91	158,24	177,23	18,99
4	757,64	871,29	113,65	545.759,23	627.623,11	81.863,88	210,99	236,31	25,32
5	947,05	1.089,11	142,06	682.199,03	784.528,89	102.329,86	263,74	295,39	31,65
6	1.136,46	1.306,93	170,47	818.638,84	941.434,67	122.795,83	316,49	354,46	37,97
7	1.325,87	1.524,75	198,88	955.078,65	1.098.340,44	143.261,79	369,24	413,54	44,30
8	1.515,28	1.742,58	227,30	109.1518,45	1.255.246,22	163.727,77	421,99	472,62	50,63
9	1.704,69	1.960,40	255,71	122.7958,26	1.412.152,00	184.193,74	474,74	531,70	56,96
10	1.894,11	2.178,22	284,11	136.4398,07	1.569.057,78	204.659,71	527,48	590,77	63,29

Fonte: elaborado pelos autores.



Na Tabela 3, apresentam-se os quantitativos estimados para produção de açúcar, em mil toneladas, etanol 1G hidratado, em mil litros, e etanol 2G anidro, em metros cúbicos. Observa-se o desempenho superior esperado com a Cana Flex relativamente a uma cana convencional, no cenário moderado de adoção da tecnologia. Enquanto a cana convencional produz, no primeiro ano, 189,41 mil toneladas de açúcar, 136,4 milhões de litros de E1G e 52,75 mil m³ de E2G, a cana Flex produz 217,82 mil toneladas de açúcar, 156,9 milhões de litros de E1G e 59,1 mil m³ de E2G. Observam-se os ganhos diferenciais proporcionados pela Cana Flex II já no primeiro ano de adoção, correspondentes a 28,41 mil toneladas de açúcar, 20.465,97 mil litros de E1G e 6,33 mil m³. No décimo ano, os ganhos adicionais atingem 284,11 mil toneladas de açúcar, 204.659,71 mil litros de E1G e 63,292 mil m³, sinalizando a eficiência técnica de produção desta variedade.

- Valor da produção e rendas adicionais

A Tabela 4 mostra os valores da produção de açúcar e etanol - 1G e 2G, no cenário otimista. Conforme indicado anteriormente (Tabela 1), foram utilizados preços médios de mercado praticado no ano de 2020. Observa-se que os valores da produção de açúcar no décimo ano de adoção da tecnologia são da ordem de R\$ 5,7 bilhões (cana convencional) e R\$ 6,6 bilhões (cana Flex). Com etanol 1G os valores atingem R\$ 4,9 bilhões (cana convencional) e R\$ 5,7 bilhões (cana Flex II), enquanto o E2G gera rendas de R\$ 2,3 bilhões e R\$ 2,6 bilhões com as variedades convencionais e Cana Flex II, respectivamente.

Tabela 4 – Valor da produção de açúcar, etanol 1G e etanol 2G – cenário otimista

An o	Açúcar (milhões R\$)		Etanol 1G hidratado (milhões R\$)		Etanol 2G anidro (milhões R\$)	
	Cana Convencional	Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II
1	573,30	659,30	493,77	567,84	228,99	256,47
2	1.146,62	1.318,61	987,55	1.135,68	457,98	512,93
3	1.719,92	1.977,91	1.481,33	1.703,53	686,97	769,40
4	2.293,23	2.637,22	1.975,10	2.271,37	915,95	1.025,87
5	2.866,54	3.296,52	2.468,88	2.839,21	1.144,94	1.282,34
6	3.439,85	3.955,82	2.962,65	3.407,05	1.373,93	1.538,80
7	4.013,15	4.615,13	3.456,43	3.974,89	1.602,92	1.795,27
8	4.586,46	5.274,43	3.950,20	4.542,74	1.831,91	2.051,74
9	5.159,77	5.933,74	4.443,98	5.110,58	2.060,90	2.308,21
10	5.733,08	6.593,04	4.937,76	5.678,42	2.289,89	2.564,67

Fonte: elaborado pelos autores.

No cenário moderado mostrado na Tabela 5, a produção de açúcar com a Cana Flex II passa de R\$329,65 milhões no primeiro ano para R\$3,3 bilhões no décimo ano. Os valores obtidos com a produção de etanol 1G e 2G são estimados em R\$ 2,8 bilhões e R\$ 1,3 bilhões, respectivamente, no décimo ano.



Tabela 5 – Valor da produção de cana, açúcar e etanol 1G e 2G – cenário moderado

Ano	Açúcar (milhões R\$)		Etanol 1G hidratado (milhões R\$)		Etanol 2G anidro (milhões R\$)	
	Cana Convencional	Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II	Cana Convencional	Cana Flex II
	1	286,65	329,65	246,89	283,92	114,49
2	573,31	659,30	493,77	567,84	228,99	256,47
3	859,96	988,96	740,66	851,76	343,48	384,70
4	1.146,62	1.318,61	987,55	1.135,68	457,98	512,93
5	1.433,27	1.648,26	1.234,44	1.419,60	572,47	641,17
6	1.719,92	1.977,91	1.326,98	1.703,53	686,97	769,40
7	2.006,58	2.307,56	1.728,21	1.987,45	801,46	897,64
8	2.293,23	2.637,22	1.975,10	2.271,37	915,95	1.025,87
9	2.579,88	2.966,87	2.221,99	2.555,29	1.030,45	1.154,10
10	2.866,54	3.296,52	2.468,88	2.839,21	1.144,94	1.282,34

Fonte: elaborado pelos autores.

Em termos de rendas adicionais obtidas nos cenários, a partir dos produtos analisados, é possível perceber claramente o impacto econômico esperado com a adoção da Cana Flex nos dados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Rendas adicionais nos cenários de adoção da Cana Flex

Ano	Açúcar (milhões R\$)		Etanol 1G hidratado (milhões R\$)		Etanol 2G anidro (milhões R\$)		Total (milhões R\$)	
	Otimista	Moderado	Otimista	Moderado	Otimista	Moderado	Otimista	Moderado
	1	86,0	43,0	74,0	37,0	27,5	13,7	187,5
2	172,0	86,0	148,1	74,1	54,9	27,5	375,1	187,5
3	258,0	129,0	222,2	111,1	82,4	41,2	562,6	281,3
4	344,0	172,0	296,3	148,1	109,9	54,9	750,2	375,1
5	430,0	215,0	370,3	185,2	137,4	68,7	937,7	468,9
6	516,0	258,0	444,4	222,2	164,9	82,4	1.125,2	562,6
7	602,0	301,0	518,5	259,2	192,3	96,1	1.312,8	656,4
8	688,0	344,0	592,5	296,3	219,8	110,0	1.500,3	750,2
9	774,0	387,0	666,6	333,3	247,3	123,6	1.687,9	843,9
10	860,0	430,0	741,0	370,3	274,8	137,4	1.875,4	937,7

Fonte: elaborado pelos autores.

Observa-se que o adicional no décimo ano, considerando o cenário otimista, é da ordem de R\$ 860 milhões para açúcar *Very High Polarization* (VHP), de R\$ 741 milhões para etanol 1G hidratado, e de R\$ 275 milhões para etanol 2G anidro, totalizando R\$ 1,9 bilhões



somente em valores adicionais obtidos com a Cana Flex, em uma hipótese de adoção da tecnologia em 10% da safra brasileira de 2020/2021.

A Figura 4 sumariza o resultado do impacto econômico da tecnologia no décimo ano, ilustrando a renda adicional total no décimo ano, sendo R\$ 1,87 bilhões no cenário otimista e R\$ 937,71 milhões no cenário moderado. A principal receita vem do açúcar (46%), seguido do etanol 1G hidratado (39%) e etanol 2G anidro (15%).

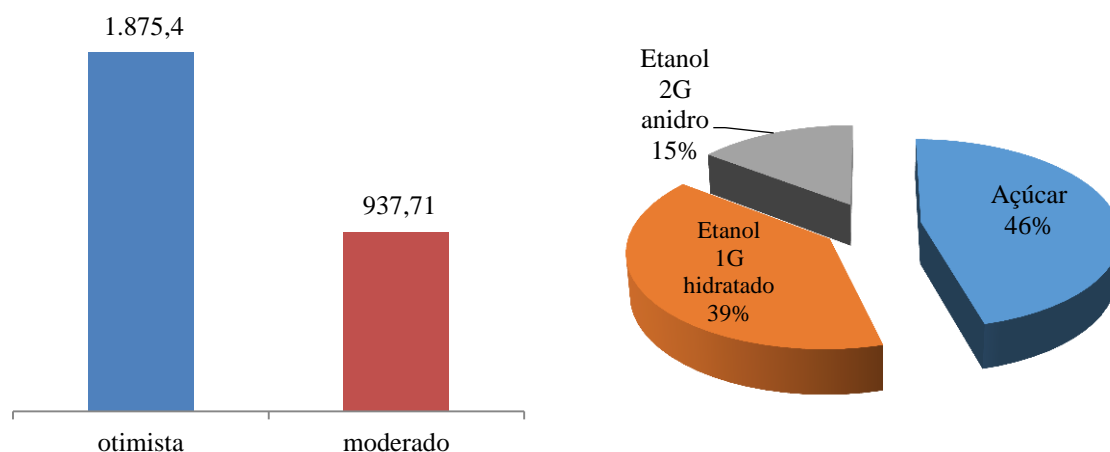


Figura 4 – Renda adicional total no décimo ano, em R\$ milhões e distribuição % por produto.

Embora o grande diferencial da tecnologia Cana Flex II (CFII) seja o incremento de açúcares livres nas folhas e nos colmos da cana-de-açúcar, procurou-se mostrar também que o incremento na liberação de glicose na etapa de sacarificação, proporcionado pela CFII pode contribuir para melhorar os resultados econômicos do E2G.

Desta forma, a produção de etanol anidro 2G foi estimada com base em coeficientes técnicos de produção para uma variedade de cana-de-açúcar convencional nos dois cenários propostos (otimista e moderado), conforme apresentados nas Tabelas 4 e 5. Para a variedade geneticamente modificada (Cana Flex II), o incremento adotado de 12% na concentração final de glicose a partir do pré-tratamento da biomassa permite rendas adicionais, caso o produtor opte por destinar uma parte da palhada ou do bagaço para este fim. Sabe-se que ainda existem desafios relacionados à economicidade no uso de insumos em algumas etapas do processo produtivo, como o pré-tratamento e a hidrólise enzimática (NOVACANA, 2019). Entretanto, o destaque maior está na matéria-prima (biomassa) que corresponde a até 40% do custo total do processo (NOVACANA, 2017). Desta forma, a Cana Flex II pode contribuir para viabilidade econômica do E2G em escala comercial no Brasil.

Tomando por base a produção de etanol total (anidro e hidratado) na safra 2019/2020 de 35,6 bilhões de litros, a produção de E1G e E2G advindos do diferencial da tecnologia CFII, no cenário moderado, seria 4,08 bilhões de litros, que representa 11,46% da produção nacional. Isso equivaleria a produzir adicionalmente mais de 2 vezes o que foi produzido no ano de 2019 por etanol oriundo de milho (1,7 bilhões de litros).



- Análise de investimento

A análise de investimento de longo prazo foi realizada por meio de fluxo de caixa, tendo como objetivo avaliar se os ganhos adicionais com a adoção da tecnologia nos cenários propostos anteriormente remuneram um investimento da ordem de R\$ 2 bilhões no ano 0 (cenário otimista), assim como investimentos em 2 aportes de R\$ 1 bilhão, sendo um no ano 0 e outro no ano 5 (cenário moderado), com um aporte anual de R\$ 100 milhões a partir do primeiro ano até o décimo ano. Trata-se de despesas anuais para manutenções diversas do parque industrial (centrífuga de açúcar, caldeiras, moendas, turbinas de acionamento das moendas, válvulas gaveta, borboleta, entre outros). A taxa mínima de atratividade considerada foi de 15% a.a. e a taxa de juros para a remuneração do capital foi de 6% a.a.

Ressalta-se que o fluxo de caixa no cenário otimista é padrão, ou seja, não há inversão de sinal no saldo do fluxo de caixa ao longo dos anos. Isso porque o investimento é realizado integralmente no ano zero e as receitas obtidas em todos os anos de produção são superiores aos custos de manutenção considerados no estudo. Já o fluxo de caixa no cenário moderado apresenta saldo negativo no ano zero e no ano 5, tendo em vista o investimento feito em dois aportes de R\$ 500 milhões. Neste caso, a TIM é o indicador de viabilidade confiável a ser considerado, conforme descrito em Guiducci et al., 2012. Os resultados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Indicadores de viabilidade econômica do investimento, por cenário

Indicadores	Cenário otimista	Cenário moderado
TIR	27%	16%
TIRM	19%	12%
VPL (6%)	R\$ 4.195,96 milhões	R\$ 982,72,00 milhões
VPLA (6%)	R\$ 570,09 milhões	R\$ 133,52 milhões
Payback descontado	5,2 anos	7,8 anos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que o investimento retorna uma TIR (27% e 16%) e TIRM (19% e 12%), nos cenários otimista e moderado, respectivamente, o que indica viabilidade econômica, pois superam a taxa mínima de atratividade do investimento que é de 10% ao ano. Além disso, essas taxas de retorno são superiores às diversas taxas de juros de mercado que poderiam ser adotadas como referência. A taxa SELIC, por exemplo, que é a taxa básica de juros do mercado brasileiro, fechou em 2% a.a. na primeira reunião do ano do Comitê de Política Monetária (Copom) de 20/01/2021. A taxa máxima atingida pela SELIC nos últimos 10 anos foi de 14,15% a.a., em agosto de 2015 (BACEN, 2021). Neste caso, apenas o cenário otimista seria viável economicamente. No entanto, na atual conjuntura de pandemia do Covid-19, as taxas de juros no mundo estão com viés de baixa, chegando até mesmo a juros negativos em alguns países.

Com relação ao valor presente líquido, observou-se que ao final de 10 anos, a tecnologia gera um VPL de R\$ 4,19 bilhões (cenário otimista) e R\$ 0,98 bilhões (cenário



moderado). Sendo assim, paga todo o investimento, com remuneração dos valores à taxa de 6% a.a. e retorna esses montantes no final do período de 10 anos. Da mesma forma, o VPLA retorna os valores anualizados de R\$ 570,09 milhões, no cenário otimista, e R\$ 133,52 milhões no cenário moderado.

Verificou-se que o tempo de retorno do investimento se deu em 5,2 anos para o cenário otimista e 7,8 anos para o cenário moderado. Esse resultado se classifica como satisfatório, pois atende a expectativa de recuperação do capital investido dentro do horizonte de análise, para um alto investimento, da ordem de R\$ 2 bilhões, acrescidos de despesas anuais de manutenção de R\$ 100 milhões, totalizando R\$ 1 bilhão em 10 anos.

Os resultados indicam que os investimentos em pesquisa têm grande potencial de retorno para o setor produtivo e para a sociedade de modo geral. Observou-se que mesmo em um cenário conservador, onde a adoção da Cana Flex II atinge no máximo 5% do mercado nacional ao final de 10 anos, os indicadores de viabilidade econômica apontam elevado retorno do investimento para o ativo biotecnológico Cana Flex II.

4. CONCLUSÃO

O estudo avaliou o impacto econômico da adoção da variedade de cana geneticamente modificada – Cana Flex desenvolvida pela Embrapa Agroenergia. O foco da análise é na etapa industrial de processamento, particularmente na produção de açúcar, etanol de primeira geração e etanol de segunda geração. Nos dois cenários avaliados (otimista e moderado), os resultados em eficiência produtiva e consequentes ganhos econômicos foram significativos. As rendas adicionais obtidas alcançaram R\$ 937,7 milhões no cenário moderado e R\$ 1.875,4 milhões no cenário otimista, após expansão gradual em um período de 10 anos. O açúcar foi o produto mais rentável, nas condições de preços analisadas, considerando cada produto separadamente. Etanol E1G e E2G juntos superam as rendas adicionais com a produção de açúcar.

A análise do investimento em infraestrutura da usina, ao longo de 10 anos, mostrou que os diferenciais de renda proporcionados pela cultivar Cana Flex II, em comparação com uma cana convencional, suportam investimentos de R\$ 2 milhões acrescidos de despesas anuais de manutenção da ordem de R\$ 100 mil nos dois cenários.

Conclui-se que a dinâmica econômica do setor sucroenergético no Brasil pode ser fortalecida com a incorporação de tecnologias, especialmente a implementação de novos ativos biotecnológicos e novas variedades de cana, como a Cana Flex, capazes de elevar a eficiência energética na etapa de processamento industrial.

5. REFERÊNCIAS

ARRUDA, P. Genetically modified sugarcane for bioenergy generation. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 23, p. 315-322, 2012.

BACEN. Banco Central do Brasil. Taxas de juros básicas – Histórico. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2021.



BASNAYAKE, S.W., MORGAN, T.C., WU, L., BIRCH, R.G. Field performance of transgenic sugarcane expressing isomaltulose synthase. *Plant Biotechnology Journal*, v. 10, p. 217-225, 2012.

BRUNI, A.L. *A Administração de Custos, Preços e Lucros*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 387 p.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. *Análise de investimentos*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar. V.7 – Safra 2020/21 – N.2 – Segundo levantamento, agosto 2020 Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

DAVIS, L.S.; JOHNSON. K.N. *Timber management*. Third ed. New York: McGraw-Hill, 1987.

DAL-BIANCO, M; CARNEIRO, M.S.; HOTTA, C.T.; CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; GARCIA, A.A.F.; SOUZA, G.M. Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion Biotechnology*, v.23, p.265-270, 2012.

DE SOUZA, W.R., PACHECO, T.F., Duarte, K.E., SAMPAIO, B.L., MOLINARI, P.A.O., MARTINS, P.K., SANTIAGO, T.R., FORMIGHIERI, E.F., VINECKY, F., RIBEIRO, A.P., Da CUNHA, B.A.D.B., KOBAYASHI, A.K., MITCHELL, R.A.C., GAMBETTA D.S.R., MOLINARI, H.B.C. Silencing of a BAHD acyltransferase in sugarcane increases biomass digestibility. *Biotechnology for Biofuels*. v.12, p.111, 2019.

DE SOUZA W.R., MARTINS P.K., FREEMAN J., PELLNY T.K., MICHAELSON L.V., SAMPAIO B.L., VINECKY, F.; Ribeiro, A.P.; CUNHA, B.A.D.B.; KOBAYASHI, A.K.; OLIVEIRA, P.A.; CAMPANHA, R.B.; PACHECO, T.F.; MARTARELLO, D.C.I.; MARCHIOSI, R.; FERRARESE-FILHO, O.; Dos SANTOS, W.D.; TRAMONTINA, R.; SQUINA, F.M.; CENTENO, D.C.; GASPAR, M.; BRAGA, M.R.; TINÉ, M.A.S.; RALPH, J.; MITCHELL, R.A.C.; MOLINARI, H.B.C. Suppression of a single BAHD gene in *Setaria viridis* causes large, stable decreases in cell wall feruloylation and increases biomass digestibility. *New Phytologist*. v.218, p.81-93, 2018.

GROENEWALD, J-H; BOTHA, FC. Down-regulation of pyrophosphate: fructose 6-phosphate 1-phosphotransferase (PFP) activity in sugarcane enhances sucrose accumulation in immature internodes. *Transgenic Research*, v. 17, p. 85-92, 2008.

GUIDUCCI, R.C.N.; ALVES, E.R.A.; LIMA FILHO, J.R.; MOTA, M.M. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: GUIDUCCI, R.C.N.; LIMA FILHO, J.R.; MOTA, M.M. (Ed.). *Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso*. Brasília, DF: Embrapa, 2012.



KASSAI, J.R., CASA NOVA, S.P.C.; SANTOS, A., ASSAF NETO, A. Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MA H.M., ALBERT H.H., PAUL R., MOORE P.H. Metabolic engineering of invertase activities in different subcellular compartments affects sucrose accumulation in sugarcane cells. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 27, p. 1021-1030, 2000.

MCCORMICK, A.J.; WATT, D.A.; CRAMER, M.D. Supply and demand: sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 2, p. 357-364, 2009.

MME. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira: Oferta e Demanda de Energia, Instalações Energéticas, Energia no Mundo. Ano Base 2019 – Edição 30 de Maio de 2020 Disponível em: www.mme.gov.br. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

MOTA, T.R., de SOUZA, W.R., OLIVEIRA, D.M., MARTINS, P.K., SAMPAIO, B.L., VINECKY, F., RIBEIRO, A.P., DUARTE, K.E., PACHECO, T.F., MONTEIRO, N.K.V., CAMPANHA, R.B., MARCHIOSI, R., VIEIRA, D.S., KOBAYASHI, A.K., MOLINARI, P.A.O., FERRARESE-FILHO, O., MITCHELL, R.A. C., MOLINARI, H.B.C., dos SANTOS, W.D. Suppression of a BAHD acyltransferase decreases p-coumaroyl on arabinoxylan and improves biomass digestibility in the model grass *Setaria viridis*. *The Plant Journal*, v.105, p.136-150, 2020.

MUDGE, S.R., BASNAYAKE, S.W.V., MOYLE, R.L., OSABE, K., GRAHAM, M.W., MORGAN, T.E., BIRCH, R.G. Mature-stem expression of a silencing-resistant sucrose isomerase gene drives isomaltulose accumulation to high levels in sugarcane. *Plant Biotechnology Journal*, v. 11, p. 502-509, 2013.

NOVACANA. Dilema do Etanol 2G: desafios da matéria-prima celulósica. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/2-geracao-celulose/dilema-etanol-2g-desafios-materia-prima-celulosica-260117>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021a.

NOVACANA. Etanol celulósico: CTBE e Novozymes atacam o custo das enzimas. Disponível em: <https://novacana.com/n/etanol/2-geracao-celulose/etanol-celulosico-ctbe-novozymes-atacam-custo-enzimas-030315>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021b.

NOVACANA. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/recolhimento-armazenamento-palhico-segunda-geracao>. Acesso em: 18 de outubro de 2020.

PATRICK, J.W., BOTHA, F.C., BIRCH, R.G. Metabolic engineering of sugars and simple sugar derivatives in plants. *Plant Biotechnology Journal*. v.11, p.142-156, 2013.

RENOVABIO. Disponível em: <https://www.renovabio.org/>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021.



RFA. Renewable Fuels Association. Annual Fuel Ethanol Production: U.S. and World Ethanol Production. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

SAMANEZ, C.P. Matemática financeira: aplicações à análise e investimentos. 5ed. Pearson Education, São Paulo, São Paulo, Brasil, 2010.

RIDESA/UFSCAR. Disponível em: <https://www.ridesaufscar.com.br/censo-vartietal>. Acesso em: 20 de outubro de 2020.

RODRIGUES, G.S.S.C., and ROSS, J.L.S. A agroindústria sucroalcooleira e o Proálcool. In: A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental [online]. Uberlândia: EDUFU, 2020, pp. 151-194. ISBN: 978-65-86084-00-9.

RUAN YL (2014) Sucrose metabolism: gateway to diverse carbon use and sugar signaling. Annual Review of Plant Biology. v.65, p.33-67, 2014.

SAMPAIO, B.L.; DUARTE, K.E.; SOUZA, W.R.; VINECKY, F.; AMARAL, H. de O.; SIFUENTES, D.N.; DIAS, B.B. A.; KOBAYASHI, A.K.; OLIVEIRA, P.A. de; MOLINARI, H.B.C. BAHD5 - novo gene-alvo para aumento de sacarose em gramíneas. V Encontro de Pesquisa e Inovação, Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, p.24, 2018.

SERPRO. Serviço Federal de Processamento de Dados. Disponível em: <https://www.serpro.gov.br/menu/noticias/cbios-creditos-carbono>. Acesso em: 18 de outubro de 2020.

USDA. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 28 setembro de 2020.

VICKERS, J.E.; GROF, C.P.L.; BONNETT, G.D.; JACKSON, P.A.; MORGAN, T.E. Effects of tissue culture, biolistic transformation, and introduction of PPO and SPS gene constructs on performance of sugarcane clones in the field. Australian Journal of Agricultural Research, v. 56, p. 57-68, 2005.

WANG J., ZHAO T., YANG B., ZHANG S. Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. Journal of Plant Physiology & Pathology, v. 5, n. 4, p. 1-6, 2017.

WU, L; BIRCH, RG. Doubled sugar content in sugarcane plants modified to produce a sucrose isomer. Plant Biotechnology Journal, v. 5, p. 109-117, 2007.