



IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS (*ex-ante*) DA ADOÇÃO DA CULTIVAR DE CANA-DE-AÇÚCAR BRS3280BtRR NO CONTEXTO DE PERDAS AGRÍCOLAS E INDUSTRIAIS PROVOCADAS PELA BROCA DA CANA (*Diatraea saccharalis*) NO BRASIL

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS (ex-ante) OF BRS3280BtRR SUGARCANE CULTIVAR ADOPTION IN THE CONTEXT OF AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL LOSSES CAUSED BY THE SUGARCANE BORER (Diatraea saccharalis) IN BRAZIL

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci

Embrapa Agroenergia

Rosana.guiducci@embrapa.br

Priscila Seixas Sabaini

Embrapa Agroenergia

priscila.sabaini@embrapa.br

Hugo Bruno Correa Molinari

Embrapa Agroenergia

hugo.molinari@embrapa.br

Paulo César de Lucca

PangeiaBiotech Pesquisa e Desenvolvimento LTDA

delucca@lgf.ib.unicamp.br

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

Resumo

Neste estudo, buscou-se avaliar impactos econômicos e ambientais *ex-ante* da adoção da cultivar de cana BRS3280BtRR, desenvolvida pela Embrapa Agroenergia. Com base em dados da pesquisa, foram estimados ganhos esperados com redução no custo de produção de cana, perdas evitadas e benefícios ambientais, em cenário de adoção da tecnologia. A viabilidade do investimento em PD&I frente aos ganhos econômicos esperados também foi avaliada. Os resultados mostraram impactos econômico e ambiental significativos, respondendo de forma satisfatória ao desafio de eliminar as perdas causadas pela broca da cana, aumentando a produtividade agrícola e industrial. Verificou-se a viabilidade econômica do investimento em PD&I, com TIR de 49,7% e VPL de R\$ 194,3 milhões. Conclui-se que a variedade BRS3280BtRR é promissora e possui grande potencial econômico e ambiental que favorecem sua entrada no mercado brasileiro.

Palavras-chave: Investimento em PD&I, cadeia produtiva de cana-de-açúcar, inovação tecnológica.

Abstract

The study aims to evaluate ex-ante economic and environmental impacts of the BRS3280BtRR adoption, a sugarcane cultivar developed by Embrapa Agroenergia. Based on research data, expected gains with a reduction in the cost of sugarcane production, avoided losses and environmental benefits were estimated in a scenario of technology adoption. The feasibility of RD&I investment regarding the expected economic gains was also assessed. The results showed significant economic and environmental impacts, which respond satisfactorily to the challenge of eliminating losses caused by the sugarcane borer, improving agricultural and industrial productivity. It was found that RD&I investment is feasible, with an IRR of 49.7% and NPV of R \$ 194.3 million. It is concluded that the BRS3280BtRR variety is promising and has great economic and environmental potential that favor its entry into the Brazilian market.

Key words: Investment in RD&I, sugarcane production chain, technological innovation



1. Introdução

A cadeia produtiva da cana-de-açúcar é composta basicamente pelo segmento agrícola, onde estão os produtores rurais, responsáveis pelo cultivo da cana, e pelo segmento industrial, que envolve as usinas de processamento. Enquanto o segmento agrícola tem como produto a cana-de-açúcar e gera o resíduo de palha, o segmento industrial responde pela produção de açúcar, etanol (produtos principais), vinhaça, levedura e bagaço (coprodutos), dos quais podem ser derivados produtos como fertilizantes, energia, biogás, biodiesel, álcoolquímica, hidrogênio, etanol 2G e gás de síntese, como ilustrado na Figura 1.

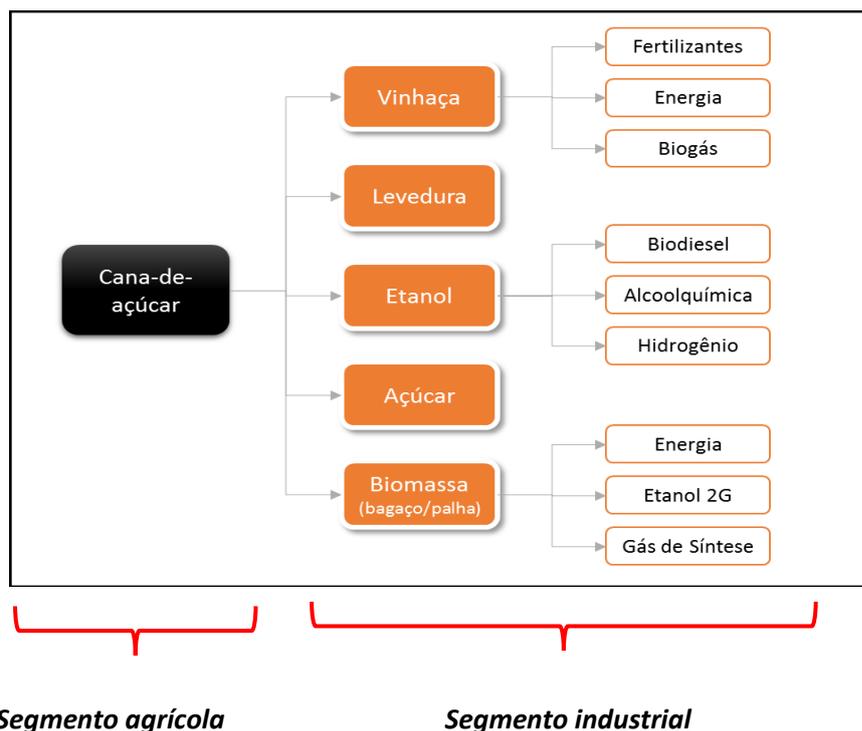


Figura 1 – Produtos da cadeia produtiva de cana-de-açúcar.
Fonte: Adaptado de ILOS (2015).

Trata-se de uma cadeia produtiva estratégica para o país, dada sua importância econômica e ambiental. Uma característica desta cadeia é a enorme capacidade de aproveitamento de resíduos, com destaque para o potencial de produção de biocombustível de segunda geração.

O segmento agrícola ocupou na safra 2020/2021 uma área de 9,95 milhões de hectares, sendo 10% na região Norte/Nordeste e 90% na região Centro-Sul (CONAB, 2021). Desse total, 188,1 mil ha foram destinados ao cultivo de mudas, 1.110 mil ha de plantio e 8.605 mil ha de área colhida (Figura 2a). A produção agrícola resultante desta safra foi de 665.105,02 mil toneladas de cana-de-açúcar, um aumento de 3,5% em relação à safra anterior (Figura 2b). Desse total, 358.418,3 mil toneladas foram destinadas ao segmento industrial para a produção de etanol (54%), enquanto 306.686,7 mil toneladas (46%) foram destinados à produção de açúcar. Com isso, o segmento industrial produziu um total de 29,83 bilhões de litros de etanol e 41,84 milhões de toneladas de



açúcar (Figura 2b). Relativamente à safra 2019/2020, houve um aumento de 40,4% na produção de açúcar e queda de 12,3% na produção de etanol (CONAB, 2021). Esse desempenho deve-se às condições de mercado no ano de 2020. Observou-se menor demanda por etanol, em função da pandemia, e aumento na cotação de preço do açúcar no mercado externo, causado por safras menores em grandes produtores, como Tailândia e Índia.

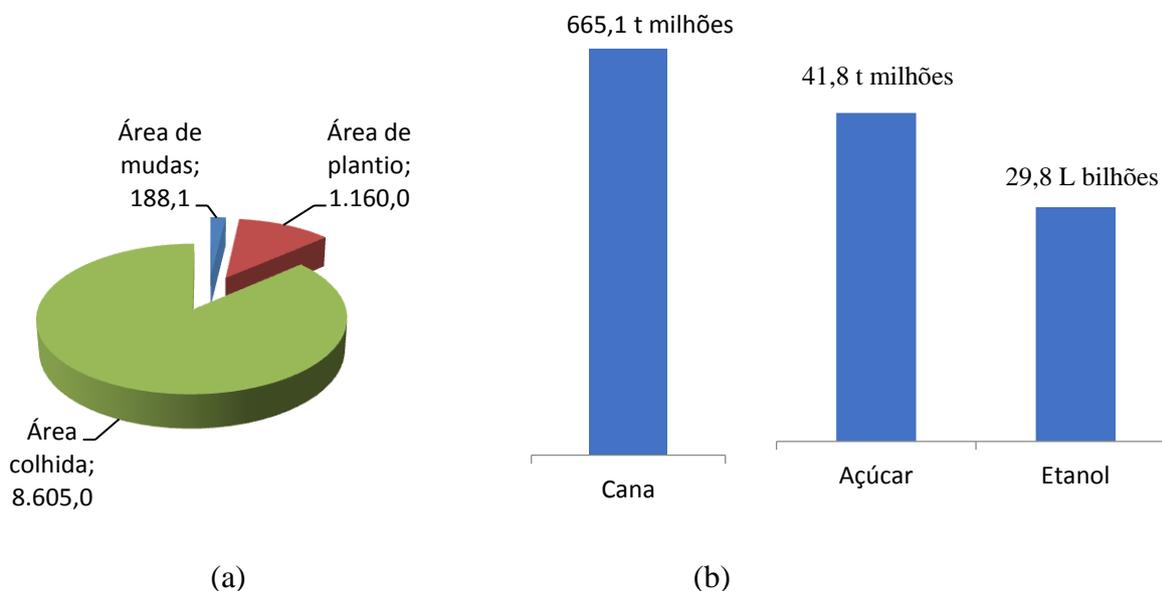


Figura 2 – Safra de cana 2020-2021 no Brasil: (a) área de cana-de-açúcar, em mil ha, (b) produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol. Fonte: CONAB.

Apesar dos bons resultados da safra brasileira e da boa penetração no mercado nacional e internacional, há desafios tecnológicos para melhorar o desempenho da cadeia produtiva de cana-de-açúcar. Dentre os desafios, o desenvolvimento e a adoção de variedades capazes de fazer frentes às perdas provocadas por pragas e doenças está na ordem do dia. Neste contexto, a broca da cana ganha relevância e maior atenção, tendo em vista a magnitude de danos causados ao setor.

A broca da cana (*Diatraea saccharalis*) é uma praga de difícil controle por inseticidas químicos, pois o comportamento alimentar da larva no colmo impede o contato efetivo do inseticida com o inseto. Por isso, é comum o uso de controle biológico nas lavouras, que pode ser feito de forma exclusiva ou em conjunto com os inseticidas químicos, buscando controlar a infestação pela praga. Estima-se que a efetividade do controle integrado de pragas, combinando químicos e biológicos, alcance valores entre 60% a 70% (ALMEIDA et al., 2016). Permanece, portanto, uma infestação residual que é capaz de provocar prejuízos significativos.

De acordo com estudo de Lopes et al. (2016), a média de perdas a cada 1% de Intensidade de Infestação de broca é de 1,21% na produção agrícola de colmos, 0,38% na produção de açúcar e 0,27% na produção de etanol. O potencial de dano da broca em áreas de cana-de-açúcar do Centro-Sul, se nenhum controle for efetuado, é de 10%, em média (CTC, 2016). Em consequência, o prejuízo potencial é de 12,1% de redução na produção de cana, 3,8% na produção de açúcar e 2,7% na produção de etanol.



Com efeito, os valores médios de perdas nos segmentos agrícola e industrial para um índice de Intensidade de Infestação Final de 4% (I.I.F%), comum nos canaviais brasileiros, somado ao custo do controle integrado de pragas, provocam perdas econômicas estimadas em R\$ 5 bilhões por ano (Lopes et al., 2016; Oliveira et al., 2014; Almeida, 2016).

É neste contexto que a cultivar de cana-de-açúcar BRS3280BtRR está sendo desenvolvida e busca dar respostas às perdas do setor sucroalcooleiro. Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar os impactos econômicos e ambientais *ex-ante* da cultivar de cana-de-açúcar BRS3280BtRR em um cenário de adoção paulatina em 10 anos. Pretende-se, também, avaliar a viabilidade do investimento realizado em PD&I frente ao retorno econômico esperado.

2. CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA E IMPACTOS ESPERADOS

A tecnologia refere-se à variedade comercial de cana-de-açúcar transgênica -BRS3280BtRR para aumento da biomassa e da produção de etanol 1G e 2G a partir da transferência de genes que conferem resistência ao herbicida glifosato e aos insetos-praga broca da cana (*Diatraea saccharalis*) e broca-gigante (*Telchin licus Drury*).

Essas características resultam em vantagens, como por exemplo, melhoria nos processos de manejo e colheita e diminuição de perdas causadas por insetos-praga. A resistência ao glifosato permite o controle de plantas daninhas como grama-seda, tiririca, mamona, mucuna preta, cordas-de-viola, cipós, capim-colonião, capim-braquiária, capim-marmelada, capim-colchão e capim-camalote. Resultados da pesquisa em curso indicam que é possível reduzir o volume de glifosato, assim outros herbicidas que tenham a mesma finalidade, em até 2/3. Além de benefícios diretos na lavoura, são esperados ganhos indiretos em saúde ocupacional e em preservação do ambiente. Graças à menor exposição dos trabalhadores ao herbicida e aos inseticidas, a variedade BRS3280BtRR reduz riscos de intoxicações. Da mesma forma, a menor aplicação dos produtos químicos, e consequente menor emissão de CO₂ (combustível) durante a aplicação, contribuem para a preservação do ambiente.

Outra vantagem desta tecnologia diz respeito à redução de custos de produção com a redução de gastos em pulverização e operação de catação (aquisição dos produtos químicos, combustível, mão-de-obra etc.). Registram-se ainda benefícios relacionados à preservação de insetos não-alvo e agentes polinizadores, já que as alterações são específicas para as pragas alvo; facilidade da aplicação de glifosato em qualquer estágio da cultura e por cima da plantação e; aceleração do processo de controle de pragas agrícolas, o que aumenta a vida útil da nova variedade.

A introdução da cultivar BRS3280BtRR no mercado está prevista para o ano de 2026. Atualmente a tecnologia se encontra em estágio de desenvolvimento equivalente ao nível de maturidade tecnológica TRL 6 (*Technology Readiness Level 6*), que diz respeito à avaliação fenotípica e validação de genótipos candidatos a cultivar em ambiente relevante. Tal etapa corresponde aos testes de Liberação Planejada no Meio Ambiente. Para avanço na escala TRL, é necessário obter a proteção da cultivar concedida pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, cumprimento de etapas de liberação comercial segundo a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, registro da cultivar para produção e comercialização de mudas no Brasil e registro do glifosato para aplicação *over the top* (Figura 3).

Tendo em conta as características acima descritas, esperam-se impactos econômicos e ambientais positivos na cadeia produtiva da cana-de-açúcar. No segmento agrícola o impacto está



relacionado à redução no custo de produção da cana, ganhos em produtividade e em qualidade. A redução no custo de produção e os ganhos ambientais devem-se à eliminação do uso de inseticidas para o controle da broca e redução em 2/3 do volume de glifosato na lavoura. Já o ganho em produtividade e qualidade da cana resulta da eliminação de infestações (mesmo que residual) por broca. Esses ganhos se estendem ao segmento industrial, que será beneficiado pela melhor qualidade da matéria prima.

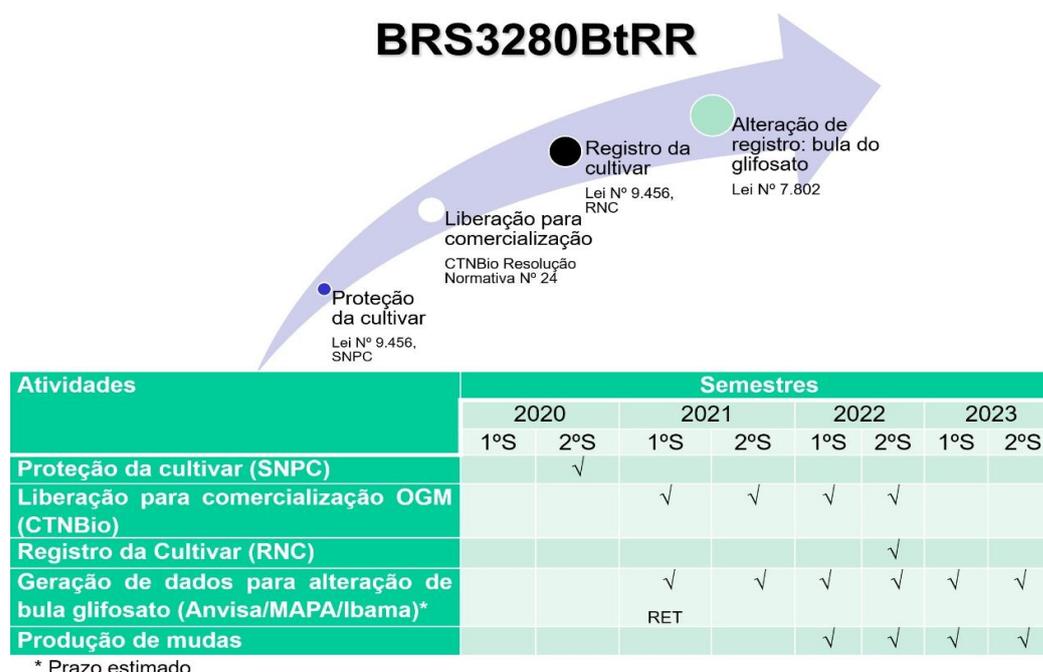


Figura 3: Etapas para lançamento comercial da variedade BRS3280BtRR.
Fonte: SPAT/Embrapa Agroenergia (2020).

3. METODOLOGIA

3.1. Cenário de adoção e avaliação de impactos da cultivar BRS3280BtRR

O cenário proposto supõe a adoção paulatina da tecnologia no mercado nacional, por incrementos anuais equivalentes a 1% da área colhida na safra 2020/2021, o que corresponde a 86,1 mil ha por ano. Ao final de 10 anos, a área cultivada com a variedade de cana BRS3280BtRR será de 860,5 mil ha.

Este cenário pode ser considerado moderado, tendo em vista o *mark-up* de variedades comercializadas atualmente, em que as três variedades mais utilizadas respondem por 16,46%; 15,06% e 12,39%, respectivamente, da área total cultivada com cana nos estados de São Paulo e Mato Grosso (RIDESA/UFSCar, 2020). É importante ressaltar que não há no mercado interno concorrentes que ofereçam as propriedades de resistência ao glifosato e à broca acumuladas, como é o caso da cana BRS3280BtRR. Portanto, é razoável supor que exista potencial para a cultivar atingir em torno de 15% do mercado nacional.



A avaliação de impactos econômicos é *ex ante* e utiliza resultados da pesquisa quanto ao desempenho da cultivar. Inicialmente serão estimados ganhos com redução no custo de produção. Em seguida, serão estimados os benefícios econômicos em termos de perdas evitadas em produtividade, tendo em conta o nível residual de infestação por broca, mesmo após os tratamentos usuais.

A redução nos custos agrícolas foi estimada com base no custo de produção de cana-de-açúcar no município de Penápolis – SP, na safra 2020/2021, dados fornecidos pela CONAB. O procedimento adotado consiste em readequar a estrutura de custos com a eliminação dos insumos que se tornam desnecessários em função da adoção da nova cultivar.

Os benefícios econômicos da tecnologia relacionados às perdas evitadas na produtividade agrícola e industrial estão relacionados à situação de infestação do canavial por broca. Para a estimativa destes benefícios serão utilizados os índices de perdas (Perdas em %) correlacionados com uma infestação de 1% (Tabela 1), definido em estudo realizado por Almeida et al (2016).

Tabela 1. Perdas correlacionadas com índice de infestação de 1% pela broca de cana-de-açúcar

Perdas causadas pela Broca (Impacto sobre a Produção)	Índices a cada 1 % I.I
Perdas agrícolas	1,21%
Perdas industriais - açúcar	0,38%
Perdas industriais - etanol	0,27%

Fonte: Almeida et al (2016).

Considerou-se o nível de infestação residual (Índice de Infestação Residual I.I%) de 4% no cenário de adoção da tecnologia. Isso significa que mesmo fazendo controle integrado de pragas haverá perdas equivalentes a quatro vezes os índices mostrados na Tabela 1.

A avaliação de impacto ambiental considerou a produção agrícola estabelecida no cenário de adoção da tecnologia, do ano 1 ao ano 10. Como referência para os impactos, foram utilizados dados do inventário de ciclo de vida da cana-de-açúcar, elaborado por Folegatti et al. (2018).

A Figura 4 ilustra os processos considerados na elaboração do inventário da cana-de-açúcar no Brasil. São eles: insumos agrícolas, operações agrícolas, resíduos industriais, recursos naturais, transporte e emissões. As informações relativas ao inventário foram acessadas a partir da base de dados do Ecoinvent.

O inventário utilizado como referência representa a média ponderada dos sistemas de produção de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, por ser o maior produtor nacional, responsável por 54,4% da produção brasileira de cana na safra 2020/2021. Simulou-se a retirada de 2/3 dos herbicidas usados no sistema de cultivo de Penápolis (SP).

A cobertura temporal do conjunto de dados publicados corresponde ao período de 2012 a 2016. O método ReCiPE (H) v 1.13 (GOEDKOOPE et al., 2012) com abordagem de ponto médio foi aplicado para calcular os fatores de impacto. Os cálculos foram realizados no software OpenLCA 1.10.3.

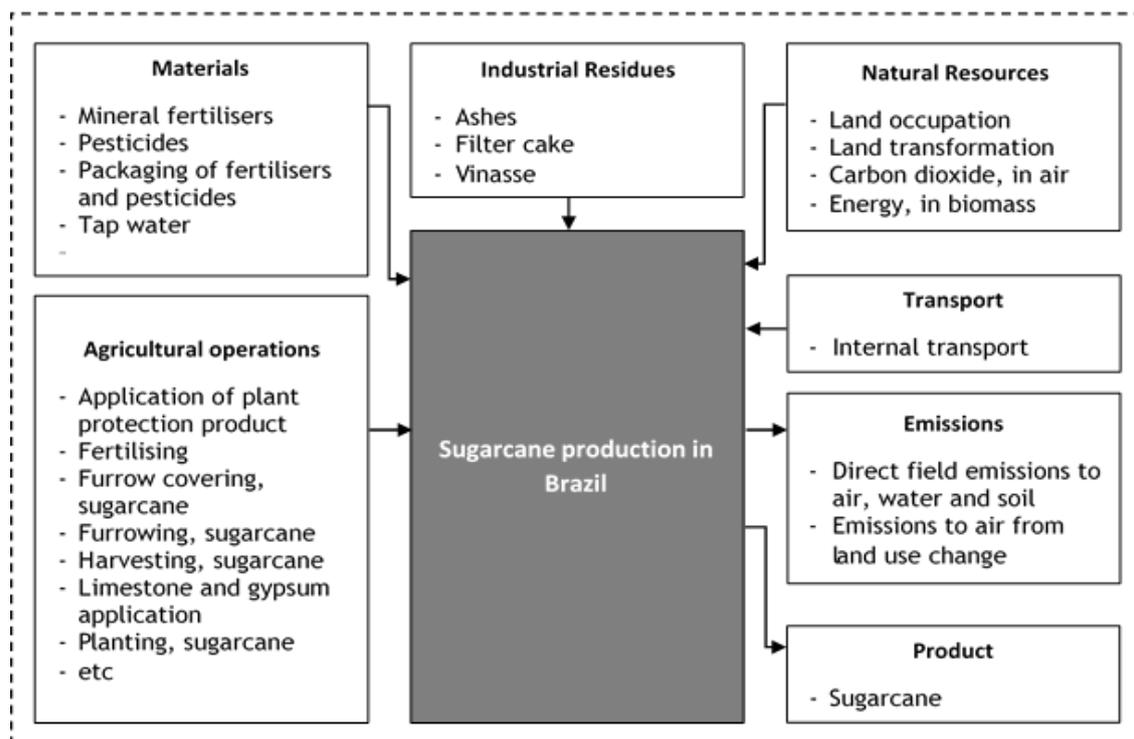


Figura 4 – Processos cobertos pelo inventário da produção de cana-de-açúcar no Brasil
Fonte: Folegatti et al. (2018).

3.2. Análise de viabilidade do investimento em PD&I

A análise de viabilidade econômica do investimento em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I foi realizada utilizando fluxo de caixa para um período de 20 anos. Nesta análise considerou-se que os oito primeiros anos foram anos de investimentos em pesquisa, seguidos de dois anos de ações de transferência de tecnologia e cultivo de mudas. Neste período não houve nenhuma receita. Nos 10 anos seguintes houve produção agrícola com a cultivar BRS3280BTRR, dando início aos fluxos de receita. Como a tecnologia está sendo desenvolvida em parceria com uma empresa privada, atribuiu-se às receitas do fluxo de caixa o equivalente a 50% dos ganhos econômicos esperados. Isso porque no fluxo de investimento não foram considerados eventuais despesas do parceiro privado, apenas despesas em PD&I no âmbito da Embrapa Agroenergia.

O investimento em PD&I compreende as despesas diretas do projeto (custeio e investimento) executadas ao longo de cinco anos, bem como as despesas indiretas, relacionadas à administração e manutenção do centro de pesquisa da Embrapa Agroenergia, incluindo depreciação de laboratório, gastos com pessoal e ações de transferência de tecnologia. A estimativa de despesas de pessoal considerou o tempo dedicado de cada membro da equipe ao longo da execução do projeto e o valor da hora, de acordo com o cargo. Da mesma forma, o custo de depreciação da estrutura física usada no projeto, especialmente de laboratórios, foi calculado com base no tempo de uso da equipe nas instalações e no valor da depreciação por hora de uso.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação de impacto econômico

Na Tabela 2 apresenta-se o custo de produção de cana de açúcar no município de Penápolis (SP), safra 2020/2021. Os valores referem-se a custos médios, organizados por tipo de despesa. Estes custos foram ponderados pela produtividade observada em 5 anos, sendo o ano 1, ano de implantação, e os anos 2 a 5, anos de formação do canavial. O cultivo é de ciclo produtivo de cana tardia (18 meses), com produção consolidada (cana planta e cana soca). O custo total médio do hectare de cana no município é de R\$ 3.741,15 com produtividade média de 81.754 kg/ha. Observa-se que as despesas com fertilizantes e agrotóxicos respondem por 30,16% do custo total.

Tabela 2 – Custos de produção de cana de açúcar, Penápolis (SP), safra 2020/2021

Tipos de despesa	R\$/ha	(%)
I - DESPESAS DE CUSTEIO DA LAVOURA (A)	2.482,37	66,35%
1 - Aluguel de máquinas/serviços	249,81	6,68%
2 - Mão-de-obra	256,13	6,85%
3 - Administrador rural	198,56	5,31%
4 - Sementes/Mudas	433,01	11,57%
5 - Fertilizantes	727,94	19,46%
6 - Agrotóxicos	400,28	10,70%
7 - Despesas administrativas	72,31	1,93%
8 - Outros itens	144,34	3,86%
II - DESPESAS PÓS-COLHEITA (B)	141,63	3,79%
1 - Seguro agrícola	49,65	1,33%
2 - CESSR	91,98	2,46%
III - DESPESAS FINANCEIRAS (C)	155,83	4,17%
1 - Juros	155,83	4,17%
CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)	2.779,82	74,30%
IV – DEPRECIACÕES (E)	493,13	13,18%
1 - Depreciação de benfeitorias/instalações	493,13	13,18%
V - OUTROS CUSTOS FIXOS (F)	87,89	2,35%
1 - Manutenção periódica de benfeitorias/instalações	87,50	2,34%
2 - Seguro do capital fixo	0,39	0,01%
Custo Fixo (E+F = G)	581,02	15,53%
CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)	3.360,85	89,83%
VI - RENDA DE FATORES (I)	380,30	10,17%
1 - Remuneração esperada sobre capital fixo	1,37	0,04%
2 - Terra	378,93	10,13%
CUSTO TOTAL (H+I = J)	3.741,15	100,00%
Produtividade média em kg/ha		81.754

Fonte: CONAB/DIPAI/SUINF/GECUP.



Verificou-se que no sistema de cultivo de Penápolis há utilização de inseticida no primeiro ano para outros tipos de pragas que não para broca, provavelmente por já fazer uma de alguma variedade Bt, considerando os preços de sementes e mudas. Por outro lado, herbicidas são utilizados nos cinco anos de implantação/formação do canavial¹.

A redução no custo total de produção da cana, com a adoção da variedade BRS3280BtRR é da ordem de R\$ 194,29/ha, valor correspondente à redução em dois terços de herbicida. Portanto, a adoção da tecnologia permitiria uma redução de 5,53% no custo total. A depender do preço que a variedade BRS3280BtRR chegar ao mercado pode haver alteração nestes indicadores. A princípio observou-se que o custo de mudas no sistema de referência é compatível com os valores de variedades bt disponíveis no mercado, em torno de R\$1.500,00 por hectare.

Os benefícios econômicos esperados devido à redução nos custos de produção agrícola são mostrados na Tabela 3. Com a redução de 2/3 no uso de herbicidas, o custo total do hectare de cana passa de R\$ 3.741,15/ha para R\$ 3.546,86/ha, gerando economia de R\$ 194,29/ha. Considerando a adoção da tecnologia ao longo dos anos, é possível gerar ganhos econômicos da ordem de R\$ 16,72 milhões no primeiro ano, chegando a R\$ 167,19 milhões no décimo ano, quando a cultivar BRS3280BtRR estiver sendo utilizada em 10% da área de cana observada na safra 2020/2021.

Tabela 3 – Benefícios Econômicos anuais por Redução de Custos

Ano	Custo com uso da tecnologia tradicional/R\$/ha	Custo com o uso da tecnologia Embrapa /R\$/ha	Economia Obtida R\$/ha	Área de Adoção (ha)	Benefício Econômico R\$ mil
	(A)	(B)	C=(A-B)	(D)	E=(CxD)
1	3.741,15	3.546,86	194,29	86.050,3	16.718,71
2	3.741,15	3.546,86	194,29	172.100,6	33.437,43
3	3.741,15	3.546,86	194,29	258.150,9	50.156,14
4	3.741,15	3.546,86	194,29	344.201,2	66.874,85
5	3.741,15	3.546,86	194,29	430.251,5	83.593,56
6	3.741,15	3.546,86	194,29	516.301,8	100.312,28
7	3.741,15	3.546,86	194,29	602.352,1	117.030,99
8	3.741,15	3.546,86	194,29	688.402,4	133.749,70
9	3.741,15	3.546,86	194,29	774.452,7	150.468,42
10	3.741,15	3.546,86	194,29	860.503,0	167.187,13

Fonte: elaborado pelos autores.

As estimativas de produção e perdas agrícola (cana-de-açúcar) e industrial (açúcar e etanol) evitadas são mostradas na Tabela 4. Observa-se que, com a mesma produtividade de Penápolis-SP (Tabela 2), a produção de cana nesta área é de 7 milhões de toneladas no primeiro ano, chegando a 70,3 milhões de toneladas no décimo ano.

¹ Os coeficientes técnicos relativos aos insumos usados estão protegidos pela Lei de Acesso à Informação nº 12.527/2011 e não podem ser publicados de forma desagregada.



Tabela 4 – Perdas evitadas na produção agrícola e industrial, em cenário de adoção gradual da tecnologia para um I.I de 4%

Ano	Produção ²			Perdas evitadas ³						
	Cana ⁴	Açúcar	Etanol	Cana-de-açúcar		Açúcar		Etanol		Total
	mil T	mil T	L mil	mil T	R\$ mil	T	R\$ mil	Mil L	R\$ mil	R\$ mil
1	7.034,96	415,06	298.986,03	340,49	28.560,50	6.308,96	9.378,90	3.229,05	6.684,13	44.623,52
2	14.069,93	830,12	597.972,06	680,98	57.120,99	12.617,91	18.757,79	6.458,10	13.368,26	89.247,05
3	21.104,90	1.245,19	896.958,09	1.021,48	85.681,49	18.926,87	28.136,69	9.687,15	20.052,40	133.870,57
4	28.139,86	1.660,25	1.195.944,12	1.361,97	114.241,99	25.235,83	37.515,58	12.916,20	26.736,53	178.494,09
5	35.174,83	2.075,31	1.494.930,16	1.702,46	142.802,48	31.544,79	46.894,48	16.145,25	33.420,66	223.117,62
6	42.209,79	2.490,38	1.793.916,19	2.042,95	171.362,98	37.853,74	56.273,37	19.374,29	40.104,79	267.741,14
7	49.244,76	2.905,44	2.092.902,22	2.383,45	199.923,47	44.162,70	65.652,27	22.603,34	46.788,92	312.364,67
8	56.279,72	3.320,50	2.391.888,25	2.723,94	228.483,97	50.471,66	75.031,16	25.832,39	53.473,05	356.988,19
9	63.314,69	3.735,57	2.690.874,28	3.064,43	257.044,47	56.780,61	84.410,06	29.061,44	60.157,19	401.611,71
10	70.349,65	4.150,63	2.989.860,31	3.404,92	285.604,96	63.089,57	93.788,95	32.290,49	66.841,32	446.235,24

Fonte: elaborado pelos autores.

² Rendimentos: cana – 81.754 kg/ha (CONAB); açúcar: 118 kg/ton de cana (NOVACANA); etanol: 85L/ton de cana (NOVACANA).

³ Preços médios de 2020 em SP: etanol hidratado - R\$2,07/l (CEPEA); Açúcar cristal- R\$1.486,60/t (CEPEA); Cana – R\$83,88/t (CONAB).

⁴ 50% destinada para produção de açúcar e 50% para produção de etanol.

Assume-se que na indústria, metade desta cana é destinada à produção de açúcar e a outra metade à etanol. Adotando os rendimentos técnicos informados na Tabela 4, (notas de rodapé), os resultados mostram que serão produzidos, no primeiro ano, 415 mil toneladas de açúcar e 299 milhões de litros de etanol. No décimo ano chega-se a uma produção de 4,1 milhões de toneladas de açúcar e 2,9 bilhões de litros de etanol. Conforme mencionado anteriormente, mesmo realizando o controle integrado de pragas, permanece uma infestação residual de 4% por broca da cana. A perda de produtividade agrícola devido à 4% de infestação residual por broca é de 4,84%, e estende para a indústria causando perda 1,52% na produção de açúcar e 1,08% na produção de etanol, conforme indicadores de perdas agrícolas e industriais para esta praga mostrados anteriormente (Tabela 1).

Sendo assim, as perdas evitadas com a adoção da tecnologia da Embrapa no ano 1 equivalem a 340 mil toneladas de cana-de-açúcar, no valor de R\$28,5 milhões, 6,3 mil toneladas de açúcar, no valor de R\$ 9,3 milhões e 3,2 milhões de litros de etanol, no valor de 6,7 milhões. A perda total evitada no primeiro ano é da ordem de R\$44,2 milhões para o setor sucroenergético. No décimo ano, com 10% da área de cana plantada com a cultivar BRS3280BtRR, o prejuízo evitado pode chegar a R\$446,2 milhões, sendo R\$ 285,6 milhões somente no segmento agrícola. No segmento industrial a perda evitada é de R\$ 97,8 milhões, com a produção de açúcar, e R\$ 66,8 milhões, com a produção de etanol (Tabela 4).

Neste sentido é possível verificar o significativo impacto econômico que a tecnologia ora em desenvolvimento poderá alcançar na cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

4.2. Avaliação de Impacto Ambiental *ex ante* da tecnologia

Na Tabela 5 são mostradas as reduções quantitativas, por categoria de impacto, para os anos de produção de cana-de-açúcar considerados no cenário de adoção da tecnologia. As categorias de impacto de ponto médio que mostraram maior variação foram: mudança climática depleção fóssil, Ecotoxicidade de água doce, Eutrofização de água doce, Toxicidade humana, Radiação ionizante, Ecotoxicidade marinha, Depleção de metal, Transformação natural da terra, Destruição do ozônio, Ecotoxicidade terrestre, Ocupação do solo urbano e Esgotamento de água.

Observa-se que as maiores reduções de emissões (variação percentual – Var %) entre o cenário base e o cenário BTRR estão nas categorias destruição da camada de ozônio; toxicidade humana; radiação ionizante; ecotoxicidade terrestre e eutrofização de água doce.

Os resultados mostram que na categoria de impacto destruição da camada de ozônio é possível evitar a emissão de 0,94 kg CFC-11-Eq no primeiro ano e 9,43 kg CFC-11-Eq no décimo ano. Na categoria de impacto relativa a toxicidade humana, o benefício ambiental varia de uma redução da ordem de 398,26 mil kg 1,4-DCB-Eq no primeiro ano a uma redução na emissão de 3,98 milhões kg 1,4-DCB-Eq. no décimo ano.

Os resultados para a categoria de impacto “mudanças climáticas” não foram tão expressivos como se poderia esperar, uma vez que a menor aplicação dos produtos químicos reduz o uso de combustível, o que implica em menor emissão de CO₂ durante a aplicação. No entanto, essa alteração não foi contabilizada devido à indisponibilidade dos dados. Mesmo assim, existe o potencial para evitar a emissão de 607 ton CO₂-Eq no primeiro ano de adoção, chegando a 6,07 mil ton CO₂-Eq no décimo ano. Para efeitos de comparação, sabe-se que uma tonelada de emissões evitadas equivale a 7 árvores em termos de captura de carbono (IBF, 2021).



Tabela 5 – Benefício ambiental da tecnologia BRS3280BTRR, por categoria de impacto

Categorias de impacto	Unidade	Bas e (A)	BT RR (B)	Va r ⁵ %	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Climate change - GWP100	kg CO2-Eq	36,4	36,3	0,2	607.091,6	1.214.183,2	1.821.274,8	2.428.366,4	3.035.458,1	3.642.549,7	4.249.641,3	4.856.732,9	5.463.824,5	6.070.916,1
Fossil depletion - FDP	kg oil-Eq	5,3	5,3	0,6	226.816,2	453.632,3	680.448,5	907.264,7	1.134.080,9	1.360.897,0	1.587.713,2	1.814.529,4	2.041.345,5	2.268.161,7
Freshwater ecotoxicity - FETPinf	kg 1,4-DCB- Eq	0,8	0,8	0,6	36.158,5	72.317,0	108.475,6	144.634	180.792,4	216.950,9	253.109,4	289.267,9	325.426,4	361.584,9
Freshwater eutrophication - FEP	kg P-Eq	0,0	0,0	0,9	444,4	888,7	1.333,1	1.777,4	2.221,8	2.666,1	3.110,5	3.554,9	3.999,2	4.443,6
Human toxicity - HTPinf	kg 1,4-DCB- Eq	5,6	5,6	1,0	398.263,3	796.526,7	1.194.790,0	1.593.053,4	1.991.316,7	2.389.580,0	2.787.843,4	3.186.106,7	3.584.370,1	3.982.633,4
Ionising radiation - IRP_HE	kg U235-Eq	0,8	0,8	1,0	53.478,9	106.957,7	160.436,6	213.915,5	267.394,3	320.873,2	374.352,1	427.830,9	481.309,8	534.788,7
Marine ecotoxicity - METPinf	kg 1,4-DCB- Eq	0,4	0,4	0,7	18.859,2	37.718,4	56.577,6	75.436,7	94.295,9	113.155,1	132.014,3	150.873,5	169.732,7	188.591,9
Metal depletion - MDP	kg Fe-Eq	2,7	2,6	0,5	99.565,8	199.131,7	298.697,5	398.263,3	497.829,2	597.395,0	696.960,8	796.526,7	896.092,5	995.658,3
Natural land transformation - NLTP	m2	0,0	0,0	0,3	107,6	215,3	322,9	430,6	538,2	645,9	753,5	861,2	968,8	1.076,5
Ozone depletion - ODPinf	kg CFC-11- Eq	0,0	0,0	7,2	0,9	1,9	2,8	3,8	4,7	5,7	6,6	7,5	8,5	9,4
Terrestrial ecotoxicity - TETPinf	kg 1,4-DCB- Eq	0,0	0,0	0,9	237,4	474,8	712,3	949,7	1.187,1	1.424,6	1.662,0	1.899,4	2.136,8	2.374,3
Urban land occupation - ULOP	m2a	0,4	0,4	0,3	8.818,3	17.636,6	26.454,9	35.273,1	44.091,4	52.909,7	61.728,0	70.546,3	79.364,6	88.182,9
Water depletion - WDP	m3	0,1	0,1	0,5	2.039,8	4.079,6	6.119,4	8.159,2	10.199,0	12.238,8	14.278,6	16.318,4	18.358,2	20.398,0

Fonte: Resultados da pesquisa.

⁵ Variação % dada por $[1 - (B/A)] \times 100$.



No cenário proposto, após 10 anos de adoção da tecnologia, serão compensadas as emissões de gases causadores de efeito estufa que representam a plantação de 233,73 mil árvores (33,39 mil ton CO₂-Eq).

A Figura 5 permite a visualização comparativa entre as emissões por categoria de impacto para o cenário base e o cenário de adoção da tecnologia BTRR. É possível verificar que a redução nas emissões que causam destruição da camada de ozônio é claramente o impacto ambiental mais expressivo desta tecnologia.

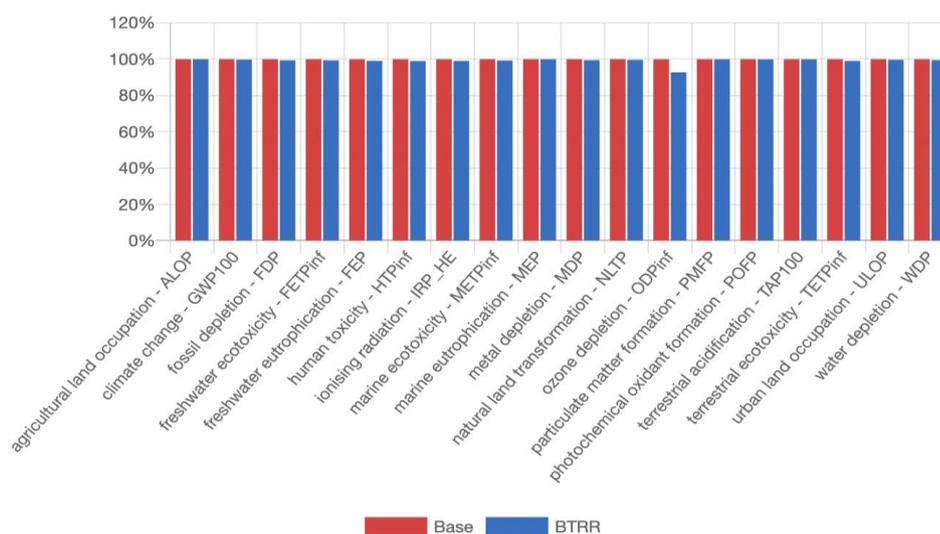


Figura 5 – Impactos ambientais da cultivar BRS3280BTRR, por categorias.

4.2. Análise de viabilidade econômica dos investimentos em PD&I

O custo total de geração da tecnologia foi estimado em R\$ 10.287.746,23 (Tabela 6), sendo 3% custos de pessoal; 8,31% custeio de pesquisa, 0,46% depreciação de capital, 0,42% custos de administração e 87,79% gastos com transferência de tecnologia.

Tabela 6 – Estimativa dos custos anuais, em R\$

Ano	Custos de Pessoal	Custeio de Pesquisa	Depreciação de Capital	Custos Adm.	Custos de TT	Total PD&I
2017	12.872,74	47.500,00	2.229,81	2.375,00	-	65.102,55
2018	77.236,44	190.000,00	13.378,88	9.500,00	-	290.615,32
2019	77.236,44	475.000,00	13.378,88	23.750,00	-	590.615,32
2020	77.236,44	95.000,00	13.378,88	4.750,00	-	190.615,32
2021	64.363,70	47.500,00	4.459,63	2.375,00	-	118.838,33
2022	-	-	-	2.375,00	3.010.658,13	3.010.658,13
2023	-	-	-	9.500,00	3.010.658,13	3.010.658,13
2024	-	-	-	-	3.010.658,13	3.010.658,13
Total	308.945,76	855.000,00	46.826,08	42.750,00	9.031.974,39	10.287.746,23

Fonte: Embrapa Agroenergia.



Os custos indiretos de pessoal e de depreciação de capital foram estimados com base nas horas trabalhadas pela equipe envolvida no projeto e no uso de laboratórios no período de execução da pesquisa, que vai de 2017 a 2021. Para uma equipe formada por 04 pesquisadores A e 05 analistas A, estimou-se custos de pessoal da ordem de R\$ 308.945,76 ao longo de 04 anos de projeto. As despesas relativas à depreciação de capital foram estimadas em R\$ 46.826,08 e referem-se ao uso de laboratórios e salas, durante a execução do projeto, pela equipe da Unidade. As despesas de custeio da pesquisa são detalhadas no orçamento do projeto e totalizam R\$ 900.000,00 em 04 anos. Os custos de transferência tecnológica referem-se a despesas previstas para a efetiva comercialização da variedade, totalizando R\$ 9.031.974,39, nos três anos subsequentes à finalização do projeto de P&D. Este levantamento de custos das etapas finais para comercialização da variedade foi realizado em 2020 pela equipe do SPAT da Embrapa Agroenergia e estão detalhados na Tabela 7.

Tabela 7 – Previsão de Custos das etapas finais para efetiva comercialização da variedade BRS3280BtRR

Etapa	Descrição	Normal Legal	Custos (R\$)
Registro da variedade	Testes de interação Genótipo x Ambiente e testes de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE)	Ato nº 3, de 19/02/2019 (MAPA, 2019a)	R\$ 25.174,39
Proteção da variedade	Proteção no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC)	Lei nº 9.456, de 25/04/1997	R\$ 6.800,00
Liberação Planejada no Meio Ambiente (LPMA)	Avaliação de eventos-elite em campo segundo RN 23 da CTNBio	Resolução Normat. CTNBio nº 23, de 03/10/2019	Já custeado pelo projeto. Sem aporte extra.
Liberação Comercial	Avaliação final para liberação comercial, a ser executada em cinco áreas diferentes na duração de 2 safras e em área com Certificado de Qualidade em Biossegurança (CQB),	Resolução Normat. CTNBio nº 24, de 07/01/2020	R\$ 7.000.000,00
Mudança de registro do Glifosato	Pedido de registro do glifosato para aplicação over the top, com emissão de RET (Registro Especial Temporário para Pesquisa e Experimentação) e protocolo do processo no IBAMA, ANVISA e MAPA	Decreto nº 4.074, de 04/01/2002	R\$ 2.000.000,00
Total			R\$ 9.031.974,39

Fonte: SPAT/Embrapa Agroenergia (2020).

A análise de viabilidade econômica do investimento em PD&I frente aos ganhos esperados com a adoção da tecnologia mostrou que o investimento em pesquisa é viável. A taxa interna de retorno é de 49,7%, bem acima de taxas de juros de referência no mercado



(Tabela 8). A relação benefício/custo indica que para cada R\$ 1,00 investido na pesquisa, gera-se um benefício econômico de R\$ 50,53. O VPL de R\$ 194,3 milhões confirma a viabilidade econômica do investimento, que remunera todo o investimento feito no período à taxa de 6% ao ano e ao final de 20 anos retorna este valor.

Tabela 8 – Indicadores de viabilidade econômica do investimento em PDI: Taxa Interna de Retorno (TIR), relação Benefício/Custo (B/C) e Valor Presente Líquido (VPL)

Taxa Interna de Retorno TIR	Relação Benefício/Custo B/C (6%)	Valor Presente Líquido VPL (6%)
49,7%	50,53	R\$ 194.298.685,11

5. CONCLUSÃO

As análises de impacto econômico e ambiental *ex-ante* mostraram que a variedade BRS3280BtRR é promissora em relação ao desafio de eliminar os prejuízos causados pela broca da cana e reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estas características certamente favorecem a entrada da tecnologia no mercado brasileiro.

É importante ressaltar que a avaliação ambiental tem alcance limitado metodologicamente pelo fato de que as escalas de cultivo do cenário base (inventário da cana) e cenário BTRR (cenário de adoção da nova cultivar) não são as mesmas, pois a cana BRS3280BtRR ainda se encontra em escala experimental. Portanto, embora válidos enquanto sinalização, esses resultados não devem ser utilizados para conclusões definitivas quanto ao impacto ambiental. Estudos mais aprofundados deverão ser realizados quando a tecnologia estiver efetivamente adotada em escala comercial.

As perspectivas de adoção da cultivar são promissoras, sobretudo por não haver no mercado nacional nenhuma variedade que acumule as propriedades da BRS3280BtRR. Essa perspectiva é reforçada frente aos danos causados pela broca da cana, em um contexto de metas ambientais para redução de emissões de GEE.

Por fim, eventuais impactos ainda não estimados da tecnologia, oriundos de testes de eficiência agrônômica que estão em andamento, poderão trazer novos resultados com impacto no desempenho econômico e/ou ambiental, os quais serão analisados futuramente.



6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. (2016). Prejuízos Bilionários Causados Pela Broca da Cana Justificam Novas Medidas de Controle. STAB - Soc. dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Bras. 34, 14–15. Disponível em <https://www.canalbioenergia.com.br/artigoprejuizos-bilionarios-causados-pela-broca-da-cana/>. Acesso em 20 de Nov. de 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica das Safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 10 de Nov. 2020.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. Causando prejuízo bilionário, broca da cana é um dos maiores problemas das usinas. Publicado em 18/10/2016. Disponível em: <https://ctc.com.br/causando-prejuizo-bilionario-broca-da-cana-e-um-dos-maiores-problemas-das-usinas/>. Acesso em: 12 de Nov. 2020.

Folegatti-Matsuura M. I. S., Picoli J. F., (2018). Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil. ecoinvent Association, Zürich, Switzerland.

Goedkoop, M., et al., 2012. ReCiPe: A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonized Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level.

IBF. Instituto Brasileiro de Florestas. Compensação de CO2 com Plantio de Florestas. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/compensacao-de-co2-com-plantio-de-florestas-2>. Acesso em 11 de Jan. 2021.

ILOS. Uma riqueza ainda sem valor. Publicado em 14 de Dez. 2015. Disponível em <https://www.ilos.com.br/web/uma-riqueza-ainda-sem-valor/>. Acesso em 10 de Jan. 2021.

LOPES, L. L. et al., (2016). Broca da cana: Impacto na indústria - Prejuízos causados pela broca vão muito além do canavial. 1 ed. Piracicaba: Fermentec, 2016.

OLIVERIA, C. M. et al. (2014). Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. Crop Prot. doi:10.1016/j.cropro.2013.10.022.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Censo Varietal 2020: Estados de São Paulo e Mato do Grosso do Sul. Disponível em: <https://www.ridesaufscar.com.br/censo-varietal>. Acesso em: 01 de Dez. 2020.

SPAT/Embrapa Agroenergia. Setor de Prospecção e Avaliação de Tecnologias/Embrapa Agroenergia. Plano de Negócio Cana BRS3280BtRR, 2020. (documento interno, não publicado).