

# Planejamento e Análise de Cadeia da Produção Sucroenergética Utilizando Cana-Energia como Matéria-Prima

**Fabio Sousa Guedes Silva (Fatec de Piracicaba)**  
guedesfabio2@gmail.com

**Fabio Cesar da Silva (Embrapa Informática Agropecuária / Fatec de  
Piracicaba)**  
silvafabio11@gmail.com



*Os programas de melhoramento da cana-de-açúcar têm se interessado por clones com maior produção de fibra. Entretanto, para sua utilização industrial, é indispensável que sejam preenchidas algumas condições fundamentais agrícolas e de fábrica, como a adaptabilidade para solos marginais e a não competição com a produção de alimentos, requisitos preenchidos pela cana-energia. Com a utilização desta relativamente nova matéria-prima, novos desafios surgiram, requisitando um olhar diferenciado para a produção de açúcar, etanol e energia. Assim sendo, o objetivo deste artigo é analisar e rastrear as alterações e adequações necessárias no sistema de produção sucroenergética, bem como os impactos ao longo da cadeia de suprimentos, pela mudança de matéria-prima, utilizando cana-energia, e estabelecer um planejamento para que isto seja concretizado com sucesso, estudando tanto aspectos operacionais quanto aspectos técnicos, incluindo a avaliação do comportamento médio de cana-energia em uma usina paulista, ao comparar com cana-sacarina. O estudo permitiu a compreensão da complexidade e as peculiaridades deste cenário, devido às particularidades, condições tecnológicas e físicas existentes nas empresas. Na usina paulista avaliada, observou-se resultados inferiores de rendimento industrial, índice de preparo, ART e ATR para a cana-energia em comparação com a cana-sacarina, porém a porcentagem de fibras foi superior, acarretando diminuição na capacidade de extração. Com a mudança da matéria-prima para cana-energia, se empregar a tecnologia Blockchain na cadeia de produção, seria possível a obtenção de um tipo de protocolo de confiança, para ser utilizado no rastreamento da produção de açúcar, etanol e energia.*

*Palavras-chave: Rastreamento, Sustentabilidade energética, Biomassa, Cadeia de suprimentos, Cana-sacarina.*

## 1. Introdução

Se na questão da mudança climática a cana-de-açúcar no Brasil já contribuiu significativamente em relação à mitigação dos gases de efeito estufa com o etanol combustível, ela pode contribuir ainda mais com a combinação de um tipo de alto rendimento agrícola, a cana-energia, com o aperfeiçoamento do processo de produção de etanol de segunda geração (2G) a partir de folhas e bagaço e de outros bioprodutos (CARVALHO-NETTO et al., 2014; CGEE, 2017).

O objetivo do presente estudo é avaliar, rastrear e planejar a cadeia de produção pela mudança de matéria-prima pela cana-energia, em usinas de cana-de-açúcar, considerando os impactos, aspectos operacionais e aspectos técnicos, bem como a cadeia de suprimentos, que através de sua gestão, de acordo com Neves, Drohomeretski e Costa (2012), agrega valor aos produtos e serviços, partindo dos fornecedores primários em direção ao cliente final, através da integração de processos-chave. Também foi avaliado o comportamento médio de cana-energia em uma usina paulista, ao comparar com cana-sacarina.

As informações levantadas na cadeia de produção com a mudança da matéria-prima em questão, se empregar a tecnologia *Blockchain*, seria capaz de se obter um tipo de protocolo de confiança, para ser utilizado no rastreamento de ativos, em especial, açúcar, etanol e energia. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, como sistemas de informação, sensores pela automação das máquinas, entre outras, seria possível aprimorar o rastreamento na produção agrícola em seus diferentes elos da cadeia de suprimentos, desde a lavoura até a entrega ao consumidor final.

## 2. Referencial teórico: cana-energia

Em tempos recentes, os programas de melhoramento da cana-de-açúcar têm buscado também clones com maior produção de fibra: cana-energia – *energy cane* (ANEXO). De uma maneira geral, são tipos com menor teor de sacarose e maior teor de fibra do que a cana convencional, mas o primeiro fator a ser levado em conta é sempre a alta produção de biomassa total (MATSUOKA et al., 2012, 2014; ROSSETTO, 2012; CARVALHO-NETTO et al., 2014).

No Brasil, a cana-de-açúcar plantada em ampla escala resulta de uma série de cruzamentos, entretanto a característica predominante é da espécie *Saccharum officinarum*, a qual contém alto teor de açúcar e reduzida quantidade de fibra. No que tange à cana-energia, os seus cruzamentos foram conduzidos para aproveitar mais os descendentes da *Saccharum*

*spontaneum*, com elevado teor de fibra (MATSUOKA et al., 2012, 2014; CARVALHO-NETTO et al, 2014). A vantagem neste caso é que vale do vigor de híbrido, de forma a se ter uma planta com maior produtividade de biomassa, mais propriamente maior biomassa seca. Além disso, ela tem maior rusticidade, adaptando-se melhor em áreas marginais, o que lhe dá vantagem de seu cultivo não competir com a produção de alimentos (MATSUOKA et al., 2012; GRANBIO, 2018).

A biomassa de culturas é atualmente muito atrativa, porque ela pode fornecer além da energia térmica (combustão direta ou carvão), energia líquida (etanol, metanol), energia elétrica, biogás, biodiesel, polpa celulósica e inúmeros produtos químicos e alimentícios derivados, etc. E, acima de tudo, é uma produção renovável (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008; MATSUOKA et al., 2012).

O bagaço que resulta da moagem (fibra) é utilizado para geração de energia elétrica que abastece a própria indústria e seus escritórios e residências e o excedente é incorporado na rede comercial; há ainda o excedente de bagaço que é comercializado para atender indústrias que o queimam para obter energia térmica e vapor. Mais recentemente, muitas indústrias passaram a recolher a palha remanescente no solo após a colheita de cana crua para se ter mais fibra combustível no processo de cogeração de energia elétrica e com isso melhor aproveitar o potencial energético dessa cultura (RIPOLI; RIPOLI, 2005).

Encontram-se as principais características nas cultivares de cana-energia na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características principais nas cultivares de cana-energia**

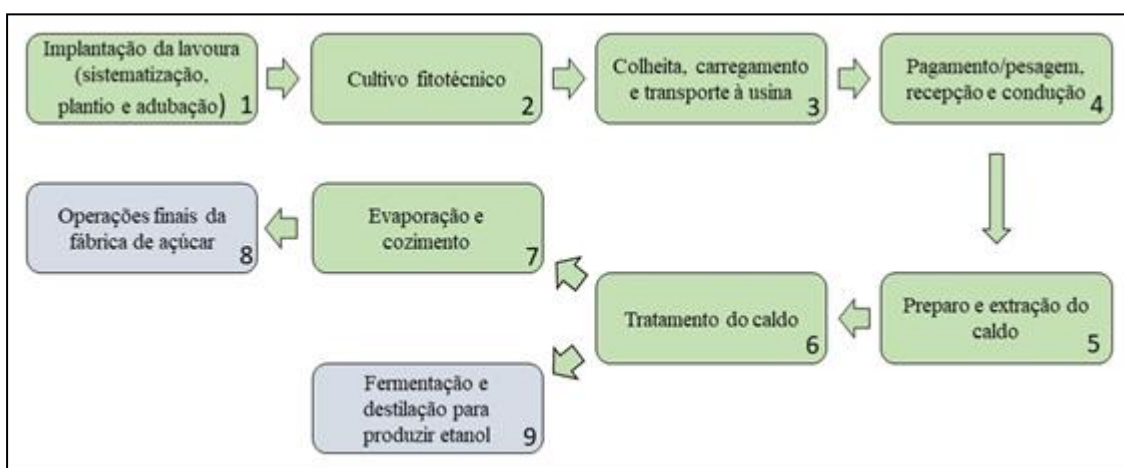
<b>Característica</b>	
1	Produz energia renovável que contribui para mitigar o efeito estufa.
2	Tem poder de alta conversão do carbono (C) atmosférico em C orgânico, <i>i.e.</i> , possui alto potencial de produção de biomassa.
3	Poderá ser um dos principais cultivos na mudança de paradigma da civilização do petróleo para a nova de energia multifacetada, compreendendo fontes múltiplas de energias renováveis.
4	Tem alta densidade de energia, ou seja, é energética e economicamente uma matéria-prima mais eficiente do que aquela de plantas alimentícias.
5	Tem maior resistência a estresses bióticos e abióticos, de forma que é possível cultivar em solos de menor valor agrônomo, assim não competindo com culturas alimentares.
6	Oferece menor competição com a produção de alimentos por consequência dos fatores acima, podendo explorar as extensas áreas de pastagens degradadas que existem no Brasil.
7	Tem poder de controle da erosão muito maior do que plantas herbáceas, fixa mais C no solo devido ao seu sistema radicular fasciculado e exuberante e, somado à sua característica de semiperenidade, oferece grande capacidade de recuperação de solos degradados, podendo promover o aumento no teor de matéria orgânica no solo.
8	Melhora a qualidade da água e do habitat para a fauna em comparação a outros cultivos, por consequência dos fatores acima.
9	Ao contrário de outras eventuais culturas para biomassa, o manejo, a colheita e o transporte da cana-energia são operações que podem ser adaptadas a partir daquelas em uso em grande escala em cana convencional.
10	É possível criar cultivares de alta produtividade para cada região geográfica por processo de melhoramento já dominado, sendo, relativamente, simples e rápido. Projeta-se um período de 4 a 6 anos para o desenvolvimento de uma nova cultivar de cana energia, metade do tempo gasto hoje para a obtenção de uma cultivar de cana-de-açúcar.
11	Ao contrário de muitas culturas para biomassa que estão sendo estudadas, a colheita da cana-energia pode ser feita quase o ano todo, e o bagaço ser armazenado nos meses restantes, uma característica importante para culturas energéticas, pois é desejável que o fornecimento de energia não seja sazonal.
12	Formas não produtoras de sementes podem ser produzidas para que a multiplicação seja vegetativa e, assim, evitar que se torne uma planta daninha. Dado o perfilhamento intenso a taxa de propagação pode chegar a 1:400 em um ano, com multiplicações semestrais na taxa de 20x. Número 16 vezes superior ao da cana-de-açúcar.
13	Além da produtividade superior da cana energia, espera-se que o teor de fibras do colmo possa ser duas vezes maior no médio prazo, com um teor de açúcar no caldo próximo a metade do teor da cana-de-açúcar.

**Fonte:** Adaptado de MATSUOKA et al. (2012) e CARVALHO-NETTO et al. (2014)

### 3. Metodologia

O estudo foi realizado em uma usina de cana-de-açúcar localizada no Estado de São Paulo. Observou-se o comportamento médio da cana-energia dentro das operações do funcionamento da usina, durante 15 dias, em comparação com a cana-sacarina, uma semana anterior e posterior, de maneira a avaliar o impacto das etapas 3, 4 e assim por diante da Figura 1, pela adoção da cana-energia como matéria-prima. Complementarmente, foram utilizados resultados experimentais para experimentos testando respostas agrônômicas de cana-energia comparando-se com cana-sacarina em áreas comerciais próximas de plantios.

Figura 1 - Operação de funcionamento de uma usina de cana-de-açúcar



Fonte: Autores

Os parâmetros operacionais foram avaliados em 2019, sendo eles: rendimento industrial, considerando Tanimoto (fibra real) e a fibra pela prensa da Consecana; e o índice de preparo. A caracterização de indicadores foram: %Fibra, ART (açúcares redutores totais), ATR (açúcar total recuperável) e TCD (toneladas de cana processada por dia na moenda - capacidade de moagem). Além dos aspectos industriais avaliados, também foi estudado e analisado os aspectos técnicos ao introduzir cana-energia no processamento de uma usina.

### 4. Resultados

Os resultados apresentam os impactos da cadeia de produção da utilização da cana-energia, desde alterações na sua produção agrícola e reflexões na sequência de operações unitárias na industrialização, até qualidade e rendimento em produtos e a sustentabilidade ambiental.

#### 4.1. Aspectos industriais

Os resultados obtidos para: rendimento industrial de usina paulista, considerando Tanimoto (fibra real) e a fibra pela prensa da Consecana; e o índice de preparo; encontram-se na Tabela 2. O processamento de cana com ponteiro na Usina Barralcool já foi avaliado por Delgado e Mafra (1989), em que já se notava uma contribuição variável de 5 a 25% de pontas e folhas e, associado à elevação de impurezas minerais, promoveu aumento nos custos e diminuição da eficiência da produção agroindustrial. A cana-energia tem um comportamento de colmos de cana de menor índice de maturidade, e associado à maior participação de casca, nó e folhas, reflete em maiores valores de fibra, agravando os impactos industriais.

**Tabela 2** - Comparação média de cana-energia e cana crua sacarina na fabricação de unidade industrial em 2019

Parâmetros operacionais	Cana energia	Cana crua sacarina	Referência Cana queimada <sup>(1)</sup>
Rendimento industrial (%)	86,8	90,0	92,0 – 89,5
Índice de preparo (%)	81,5	88,2	91,5 – 88,0

**Fonte:** Autores. (1) Delgado, Cesar e Silva (2019)

Os resultados obtidos na caracterização de indicadores em 2019: %Fibra, ART, ATR e TCD; encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3** - Caracterização de indicadores em 2019 na matéria-prima

Caracterização de indicadores	Cana energia	Cana crua sacarina	Referência Cana queimada <sup>(1)</sup>
ART (kg/tc)	81,8	88,7	94,0 - 88,5
ATR (kg/tc)	70,4- 71,0	96,2	110,0 - 97,5
Fibra (%)	17,5 – 21,0	12,5 – 15,0	11,8 – 14,0
TCD	4500	7200	-

**Fonte:** Autores. ART: Açúcares redutores totais (quilogramas por tonelada de cana); ATR: Açúcar total recuperável (quilogramas por tonelada de cana); TCD: Toneladas de cana processada por dia na moenda (capacidade de moagem). (1) Delgado, Cesar e Silva (2019).

Zarpelon (1988), na Usina Ester, observou também uma quantidade mais elevada de impurezas minerais entrando na fábrica, e um maior desgaste na camisa das moendas e em consumo de vapor de 15 a 20%. Conforme a Tabela 3, a cana-energia apresentou teor (%) de fibras de 17,5% a 21,0%, enquanto a cana-sacarina 12,5 a 15,0%, sendo a cana-energia com cerca de 5 a 6 unidades de porcentagem superior ao da cana-sacarina, entretanto a cana-

energia (4500 TCD) apresentou 2700 TCD inferior em relação à cana-sacarina (7200 TCD). Dessa maneira, a cada 1 unidade de porcentagem maior no teor (%) de fibras, houve redução de 450 TCD, o que significa que a cada 1 unidade de porcentagem adicional de fibra, promoveu diminuição da capacidade de moagem em 6% no dia. Os ajustes de processo industrial permitiram obtenção de ganho de produtividade em etanol e energia, contribuindo para o balanço energético, mas qualidade inferior do açúcar, pelos maiores valores de cor (ICUMSA) e amido.

Para a cana convencional, houve estudos detalhados sobre a interferência de diferentes partes da cana na industrialização por diversos outros autores, que permitiu aprofundar o problema de cor do açúcar e cinzas, pela elevação de impurezas, especialmente no início da safra. Tal dificuldade prática no processamento explica-se pela elevação de impurezas na matéria-prima, devido à maior presença de folhas e do ponteiro (ponta) como parte integrante dela (Tabela 4), o que pode permitir inferir significativamente pela adição do ponteiro aos colmos no conteúdo de cor (ICUMSA) e em precursores do processo de formação dessa, cinzas, açúcares redutores e em escala considerável de fibra, entretanto promove redução na pureza do caldo de 0,3 unidades a cada 1% de ponteiro na matéria-prima (REIN, 2012).

**Tabela 4** - Variabilidade na composição de partes da cana sem queima ou crua (A – colmos; B- palmito e C - folhas), em variedades comerciais

Parâmetro	Unidade	Colmos <sup>(A)</sup>	Ponteiro <sup>(B)</sup>	Folhas <sup>(C)</sup>	Relação*
<b>Composição do caldo</b>					
Sacarose <sup>1,2,3,4</sup>	%	15,8-21,2	5,6-7,4	7,8-4,2	63-65
Pureza do caldo <sup>1,2,3,4</sup>	%	89,2-91,8	21,8-59,0	19,8-26,3	35
Glicose + frutose (AR)	%	0,12-0,30	1,50-1,92	0,42-0,79	953-1250
Açúcares redutores totais <sup>1</sup>	%	22,9	10,1	8,4	-56
pH <sup>1</sup>		5,35	5,00	5,16	-7
Cinzas <sup>1</sup>	%	0,37	1,35	1,51	265
Cor ICUMSA <sup>1</sup>	U.I.	7361	100956	122722	1272
Turbidez <sup>1</sup>	U.I.	45389	104766	126056	131
Compostos fenólicos totais <sup>5</sup>	mg/kg	300	520	815	
Amido	mg/kg	52-81	103-350	306-1160	
<b>Composição da cana (porcentagem, %)</b>					
Umidade <sup>1,2,3,4</sup>	%	67,3-70,0	75,4-77,2	38,0-67,8	12
Fibra <sup>1,2,3,4</sup> (Tanimoto)	%	12,2-12,8	14,0-25	26,1-16	15
Pol da cana <sup>1,2,3,4</sup>	%	15,5-18,2	2,5-6,5	1,4-4,5	-64
ATR (PCTS) <sup>1</sup>	kg/t	169,8	68,0	44,7	-60

**Fonte:** adaptada de diversos autores por Delgado, Cesar e Silva (2019); <sup>1</sup>Silva Jr.; Oliveira e Nunes (2000),

<sup>2</sup>Scott (1977), <sup>3</sup>Irvine e Doyle (1989), <sup>4</sup>Delgado, Cesar e Silva (2019), entre outros.

\*Relação porcentual entre palmito e colmos. AR: Açúcares redutores; pH: potencial hidrogeniônico; ATR:

Açúcar total recuperável; PCTS: Pagamento de cana por teor de sacarose.

Com relação à produção de açúcar ao utilizar cana-energia como matéria-prima produz açúcar com cor ICUMSA 1200 e cinzas de 0,15 (fora dos valores dos parâmetros do VHP). No caldo da cana-energia encontram-se valores variando de 700 a 8000 ppm de dextrana e 1800 a 5700 ppm de amido, que explica-se pela maior participação de folhas e de ponta na matéria-prima (Tabela 3).

## **4.2. Aspectos técnicos**

### **4.2.1. Fatores importantes para o cenário da cana-energia**

Para o cenário da cana-energia, fatores importantes aparecem e necessitam ser analisados. Estes fatores envolvem o aproveitamento do conhecimento acumulado sobre sistemas de produção para modelar, simular e otimizar diversas atividades do processo de desenvolvimento de produtos que se possa testar, bem como a aplicação das crescentes exigências da legislação e da conscientização ambiental, perante os impactos dos sistemas de produção.

É de relevada importância mencionar que o avanço da mecanização da colheita da cana sem queima requer inversões em equipamentos e no preparo dos trabalhadores, e que podem causar impactos sobre o solo devido ao tráfego intenso dos veículos no talhão, que terminam por causar efeitos negativos no cultivo e na qualidade da matéria-prima. Além disso, é importante que haja nas indústrias certa diversificação, já que elas não dependerão de um único produto (açúcar) para comercialização e assim melhora a sua sustentabilidade.

### **4.2.2. Premissas técnicas e fatores da qualidade para cenários: “cana crua”, colheita mecanizada e cana-energia**

#### **4.2.2.1. Qualidade dos produtos em função da matéria-prima e de seu processamento**

Dependendo da sequência das operações da unidade, a cana-de-açúcar é uma matéria-prima para a produção de vários produtos. Da mesma forma, quando a mesma sequência de operações unitárias é usada, um produto de qualidade variável pode ser obtido, dependendo das características “intrínsecas” da matéria-prima e dos fatores que afetam sua qualidade.

Essa premissa contrasta com as versões equivocadas de que o etanol ou o açúcar, com uma especificação de produto de maior qualidade, podem ser obtidos a partir de variações únicas e exclusivas na maneira como a matéria-prima é processada. Fatores de qualidade estão intimamente relacionados e diferentes tipos de deterioração que ocorrem dependendo dessa relação. Por outro lado, a “relatividade da qualidade” dos produtos (etanol ou açúcar)



que está intimamente relacionada ao emprego a que se destina e as demandas do mercado consumidor não podem ser perdidas de vista.

Silva et al. (2019) avaliaram as potencialidades das variedades de cana-energia Vignis 3 e Vignis 1126, em comparação com a variedade açucareira (convencional) RB 867515. Em termos de avaliação energética da unidade de fibra seca de cada material, uma das variedades de cana-energia apresentou potencial elevado para combustão, sendo 17% e 8% superior à cana convencional em poder calorífico inferior e poder calorífico superior, respectivamente.

#### **4.2.2.2. Variabilidade genética da matéria-prima**

Pode-se citar como causas de variabilidade dos parâmetros a diferente proporção de participação de genes de *Saccharum spontaneum* e *Saccharum officinarum* na variedade; idade (posição) do colmo na touceira e perfilhamento; épocas de plantio da cana e corte e de colheita; características tecnológicas, anatômicas e fisiológicas específicas da variável, que influenciam o ambiente e o genótipo (resiliência ambiental) (MATSUOKA; SANTOS; TOMAZELA, 2017); suscetibilidade e deterioração fisiológica, que pode ser detectada, pelo florescimento e isoporização de variedades, matéria-prima de baixa densidade e problemas no transporte, por aumento do volume, redução da capacidade e reflexo em todas as operações do processo e deterioração fisiológica provocada pela respiração, porque reduz o açúcar recuperado na fábrica, que favorece a deterioração pelo incremento da atividade microbiológica.

#### **4.2.2.3. Características físico-químicas e deterioração microbiológica da matéria-prima**

As características físico-químicas e microbiológicas da matéria-prima podem sofrer alterações que começam após o corte no campo, afetando o processamento industrial e, conseqüentemente, a qualidade da produção de açúcar ou etanol. Dependendo do manejo, as variedades são classificadas como precoce, média e tardia, de acordo com o tempo necessário para atingir o conteúdo satisfatório de sacarose para industrialização no momento da colheita, o que permite um planejamento agrícola adequado. O estudo das curvas de amadurecimento das variedades é realizado pela indústria, pois permite conhecer corretamente o Período Útil de Industrialização (PUI) (BRIEGER, 1968) de cada variedade e, conseqüentemente, o melhor aproveitamento de sua produção.

A maturação da cana é a peça central da integração do agronegócio sucoenergético, pois a qualidade da matéria-prima (rica em sacarose) é o que condiciona e limita o desempenho e a eficiência no processamento industrial. O teor de sacarose deve ser

equilibrado com a produção de biomassa da cultura da cana, para proporcionar o maior retorno dos benefícios do etanol, açúcar e energia por unidade de área.

#### **4.2.2.4. Impactos dos sistemas mecanizados no cultivo**

Os sistemas mecanizados causam alguns impactos no cultivo da cana, principalmente no que se refere à colheita mecanizada. Ela possui como característica o corte na base conjugada com a alimentação da colhedora realizada por discos duplos e corte em linha com discotecas flutuantes, apesar da ausência, sem embargo, do desenvolvimento de uma solução tecnológica para alimentar os altos no interior da colhedora, depois do corte. A colheita mecanizada promove a separação pneumática de impurezas e retirada da palhada. Por outro lado, existem restrições na colheita mecanizada, sendo que as máquinas colhedoras atuais não trabalham com valores acima de 12% de declividade do terreno.

#### **4.2.2.5. Adequação da matéria-prima ao processo e a flexibilidade do processo, ou ambos (otimização do processo)**

Para otimizar os processos, deve-se tomar decisões em relação à matéria-prima (como variedade, tempo de corte), para que as variáveis do processo sejam mais estáveis durante um determinado período. Em outros casos, o processo deve ser a fonte de mudanças para satisfazer a adaptação às alterações na qualidade da matéria-prima. A matéria-prima deve ser produzida com especificações ideais para evitar alterações no processamento. Portanto, uma ideia importante diz que a qualidade do produto deve ser padronizada e que esses padrões se reflitam em benefícios para os setores agrícola e industrial.

O impacto da cana-energia traz consigo na industrialização uma elevação de teores de fibra, de polifenóis, compostos nitrogenados e pigmentos coloridos, o que reflete em redução de capacidade e de extração por moenda, necessidade de aumento de espaço para recepção e em problemas de formação de cor na fábrica do açúcar (Tabela 5).

**Tabela 5** – Efeitos de elementos existentes na matéria-prima (cana) para industrialização

Forma	Operação	Ação	Impacto	Ideal	Controle
Fibra:	Moenda	Reduz a capacidade de extração	Reduz a eficiência da moenda	Fibra: 12% a 14%	Manejo varietal; Lavagem da cana
Hemicelulose, Lignina, celulose	Caldeira	Aumenta o bagaço, mais cogeração de eletricidade	Balanço térmico	Bagaço umidade: 45% a 48%	Reduzir a umidade do bagaço
Amidas	Amidas	Clarificação e cristalização	Aumento de perdas; Maior viscosidade; Menos açúcares	Amidas/sólidos (%) 70 a 220	Seleção varietal; Manejo agrícola; Controle na fábrica; Irrigação
Compostos fenólicos	Derivados de polifenóis	Clarificação; Fermentação; Fabricação do açúcar	Precursores de cor; Inibição do processo de fermentação	<280 mg/L	Manejo varietal; Controle de broca; Controle de formação de cor na fábrica

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2015)

Deve ser destacado o impacto das impurezas e no aumento da fibra que acompanham a cana de açúcar na sua moagem, pode produzir as seguintes consequências, que seriam: a) aumento no consumo de energia no preparo cana; b) diminuição da capacidade e de extração de moagem; c) diminuição da capacidade de processamento dos difusores; d) diminuição da extração de pol nas moendas; e) diminuição da pureza do caldo e aumento da cor ICUMSA; f) aumento do desgaste de equipamentos; g) dificuldade para tratamento do caldo; h) dificuldade para fabricação de açúcar de qualidade e a redução do rendimento da fermentação; i) problemas operacionais com a caldeira e j) redução na densidade da carga / aumento do custo de transporte.

A cana-energia traria uma maior intensidade nas operações unitárias da fábrica e que já ocorreram na adoção da cana crua no passado. Entretanto, para a implementação da cana-energia na usina, são necessários algumas modificações na fábrica, como a necessidade de todos os rolos superiores perfurados (6 ternos), aumento do caixote na recepção (volume da esteira – volume do descarregamento), repotência da esteira distribuidora do alvo de bagaço, aquisição e instalação de medidor de magma, acrescentar xarope no diluidor e destilaria para vapor vegetal. Ressalta-se que com a utilização de cana-energia na usina, surgem algumas dificuldades como o alto teor de dextrana e amido no caldo, baixa pureza (Sacarose/Brix), cor alta no caldo (dificuldade para clarificação), sólidos baixo, baixo kg de ATR na cana e baixo teor de ART no caldo.

### **4.2.3. Impactos nos aspectos técnicos por setores**

#### **4.2.3.1. Setor agrícola**

A cana-energia produz maior quantidade de ponteiro e palha, o que deve contribuir para a redução da aeração e da temperatura do solo, conseqüentemente reduzindo a taxa de decomposição das raízes, mantendo assim maior quantidade de matéria orgânica no solo, uma vez que a presença das raízes dificulta a compactação.

#### **4.2.3.2. Setor industrial**

A abordagem industrial varia desde a preparação da cana até a melhor alternativa para o uso do produto, de acordo com as demandas do mercado consumidor. Pode-se citar certos cuidados industriais, como: recepção de cana; adequação do sistema de moagem; tratamento do caldo; evapocristalização; operações finais; fermentação.

#### **4.2.3.3. Seleção de parâmetros e sua especificação de impactos**

Um fator importante para integração agroindustrial está relacionado com a especificação correta dos parâmetros com os valores a serem trabalhados. Dentre os parâmetros convencionais, pode-se citar: fibra botânica e industrial (áreas de vinhaça e cana tombada); teor de sacarose (pol); açúcares redutores; pureza do caldo. Por outro lado, incluem-se como parâmetros não convencionais: polissacarídeos; amido; compostos fenólicos; ácidos orgânicos; cinzas e silício (folhas); impurezas minerais e vegetais (pontas).

#### **4.2.4. Estratégias para racionalização das operações**

Com relação à racionalização das operações no plantio da cana-energia, é importante mencionar que ela possui rendimento de muda muito grande, exigindo menor área de viveiro, o que representa uma economia substancial, além de ainda diminuir o custo de transporte; possui poder de multiplicação de 1:25 ou mais, com menor custo de transporte; o poder germinativo é maior, sobressaindo quando se planta na seca; e não é necessário picar para o plantio, uma vez que o colmo não enverga e todas as gemas brotam.

Para a integração do agronegócio no nível da empresa, é essencial conhecer as características básicas da unidade, pois condizionarão o comportamento do sistema produtivo, do ponto de vista técnico, social, administrativo, educacional e científico. As principais características que devem ser levadas em consideração na unidade de produção podem ser resumidas, por setores, da seguinte forma: agrícola, industrial, administração e recursos humanos.

## 5. Considerações finais

O presente artigo trata-se de contribuir com informações operacionais de uma aproximação sobre o assunto importante e inesgotável da integração da cadeia de produção sucroenergética, aplicável desde fazendas ou empresas que integram cana-energia como matéria-prima e migram para a colheita mecanizada de cana crua. Observou-se na usina estudada resultados inferiores de rendimento industrial, índice de preparo, ART e ATR para a cana-energia em unidade de biomassa (toneladas) em comparação com a cana-sacarina, porém a porcentagem de fibras foi superior, favorecendo a geração de eletricidade, entretanto, acarretando diminuição da capacidade de moagem. Os ajustes de processo industrial permitiram obtenção de produtividade satisfatória em etanol e energia, favorecendo o balanço energético, mas qualidade inferior do açúcar, pelos maiores valores de cor (ICUMSA) e amido.

É importante ressaltar que o estabelecimento do preço da cana-energia não pode ser pelo CONSECANA, pois este penaliza o teor de fibra, que é justamente o que se procura nesse tipo de biomassa, isto é, maior quantidade de bagaço, em última instância de energia elétrica. Dessa forma, é fundamental que na integração campo-indústria haja plena conscientização de toda a equipe para tal mudança, que se mentalize que o objetivo não é a sacarose; trata-se de uma mudança conceitual que é especialmente mais complexa na indústria, razão porque a empresa deve se incumbir por essa conscientização. Essa cana-energia mais fibrosa (Tipo II) seria para adoção em casos especiais de empresas que realmente necessitam de mais fibra, por exemplo, empresas que fazem etanol também de milho, ou empresas que partam para a produção de etanol 2G; para as usinas tradicionais seria recomendável a cana-energia intermediária (Tipo I), ou seja, variedades que têm bom teor de sacarose e fibra ao nível de 16 – 18%. Esse tipo de variedade já está sendo desenvolvida e avaliada pela Embrapa, de variedades Vignis e Vertix (MATSUOKA, S. Informação pessoal).

## REFERÊNCIAS

BRIEGER, F. Início de safra: como determinar a maturação. **Boletim Informativo Copereste**, Ano 7, nº 4: 1-3, 1968.

CARVALHO-NETTO, O. V. et al. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 20, 2014.

CGEE. **Bioenergia e bioquímica de segunda geração de cana-de-açúcar**: combustíveis avançados de baixo carbono para o transporte e a indústria. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. Disponível em: <<https://www.cgee.org.br/>>. Acesso em: 26 maio 2020.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A.; SILVA, F. C. da. **Elementos de tecnologia e engenharia da produção do açúcar, etanol e energia**. Piracicaba: FEALQ, 2019. 984 p.

DELGADO, A.A.; MAFRA, R.L. Cana com ponta: uma necessidade ou uma vantagem industrial? **Revista Usineiro**, São Paulo, 4 (19): 58-65, 1989.

GRANBIO. **O que é Cana-Energia?** Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

IRVINE, P. C.; DOYLE, C. D. Some measurements of the effect of tops and trash on cane quality. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 11., Brisbane, 1989. **Proceedings...** Brisbane: Watson Ferguson, 1989, p. 1-7.

MATSUOKA, S. et al. Bioenergia de cana. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol, tecnologias e perspectivas**. 2. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Os Editores, 2012. p. 547-577.

MATSUOKA, S. et al. Energy cane: its concepts, development, characterization, and prospects. **Advances in Botany**, v. 2, p. 1-13, 2014.

MATSUOKA, S.; SANTOS, E. G. D.; TOMAZELA, A. Free fiber level drives resilience and hybrid vigor in energy cane. **Journal of Scientific Achievements**, v. 2, n. 1, p. 1-35, 2017.

NEVES, T. R. de O.; DROHOMERETSKI, E.; COSTA, S. E. G. da. Gestão da cadeia de suprimentos: uma análise da produção científica. IN: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** p. 1-13. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

REIN, P. W. **Cane sugar engineering**. 2nd ed, Berlin: Bartens, 2012. 768 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de Cana-de-açúcar**: Colheita, Energia e Ambiente. Piracicaba: Os Autores, 2004.

ROSSETTO, R. A bioenergia, a cana energia e outras culturas energéticas. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2012. Disponível em: <[www.aptaregional.sp.gov.br](http://www.aptaregional.sp.gov.br)>. Acesso em: 30 mar. 2018.

SCOTT, R. P. The limitations imposed on crushing rate by tops and trash. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, v. 51, p. 164-166, 1977.

SILVA, F. C. et al. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: SILVA, F.C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (Org). **Sistema de produção mecanizada de cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília/DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2015. p. 288-359.

SILVA, F. S. G. et al. Avaliação experimental e panorama da cana energia na cadeia produtiva sucroenergética: caracterização e identificação de potencialidades. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA FATEC DE BOTUCATU, 8., 2019, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fatec. p. 1-8. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/>>. Acesso em: 24 maio 2020.

SILVA Jr, J. F.; OLIVEIRA, D. T.; NUNES, M. H. Qualidade de cana crua. In: Seminário de Tecnologia Industrial, 7., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 2000. 1 CD-ROM.

ZARPELON, F. Processamento industrial de cana não despontada: experiência da Usina Ester. **STAB**. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 6, n. 6, p. 37-42, 1988.

## **Agradecimentos**

Agradecimentos ao Sizuo Matsuoka por todo apoio, colaboração e participação para a realização deste trabalho. Agradecimentos à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

**ANEXO – FOTOS DE CANA-ENERGIA E SEU RIZOMA**



**Fonte:** Fotos de Sizuo Matsuoka