


Principais processos de mecanização da biomassa oriunda de cana de açúcar: Uma abordagem utilizando agricultura 4.0

 <https://doi.org/10.56238/sevned2024.007-046>

Karen Giovanna Duarte Magalhães

E-mail: karen.magalhaes.700@ufrn.edu.br

Victoria Victor Soares

E-mail: victoriavictor539@gmail.com

Lucas Franklin de Lima

E-mail: lucasfranklin.022@gmail.com

Luiz Eduardo Freitas de Moura

E-mail: freitaseduardo265@gmail.com

Katia Moreira de Melo

E-mail: katia.melo.016@ufrn.edu.br

RESUMO

Diante da grande problemática dos combustíveis provenientes do petróleo, torna-se imprescindível o investimento em novas fontes energéticas limpas. Este cenário promove a busca por novas matérias-primas e rotas sustentáveis que possam ser utilizadas de forma alternativa, como as chamadas biomassas, materiais ricos em matéria orgânica vegetal ou animal. Nesse contexto, destaca-se a biomassa obtida através da cana de açúcar. Esta tem sido utilizada de diversas formas, desde insumo natural para a obtenção de açúcar e produção de melado até fonte energética para a obtenção de etanol, um combustível renovável. Assim, diante do grande potencial da cana de açúcar, o presente trabalho consiste em uma revisão literária conceitual, abordando os principais desafios em sua produção no Brasil, e explorando a Agricultura 4.0. Os principais resultados do estudo demonstram que a adoção da Agricultura 4.0 e, conseqüentemente, a mecanização da colheita da cana de açúcar não são apenas necessidades urgentes, mas também devem ser implementadas de maneira cuidadosa para trazer mais benefícios às empresas envolvidas na sua produção.

Palavras-chave: Biomassa, Cana de açúcar, Agricultura 4.0, Mecanização.

1 INTRODUÇÃO

A biomassa da cana de açúcar é uma fonte vital de combustível na rede elétrica brasileira. Geralmente 7% do limite total de energia introduzido no país é gerado tanto do bagaço da cana quanto de contaminações vegetais (Empresa de Pesquisa Energética, 2018). A última alude às copas da cana de açúcar, folhas secas e verdes embrulhadas inalienavelmente na cana de açúcar que seguem após as tarefas de colheita.

Além disso, a área canavieira brasileira passou por algumas mudanças no longo prazo, principalmente a eliminação do consumo da palha antes da colheita (geralmente no Estado de São Paulo) devido a uma variedade de questões monetárias, sociais e ecológicas. Essa realidade tem empurrado a área canavieira para tarefas agrárias de base mecânica no distrito Centro-Sul do Brasil, especialmente aquelas identificadas com coleta e plantio (Cardoso *et al.*, 2018; Menandro *et al.*, 2017).

Esse progresso ao longo dos últimos anos trouxe o testemunho de muita biomassa nos campos da cana de açúcar, emoldurando uma palha sobre a superfície da terra. Embora a cobertura morta possa beneficiar a prolongada qualidade do solo e a lucratividade da colheita, tal acúmulo também aborda uma importante matéria-prima para biorrefinaria e confere novas liberdades para a indústria de cana de açúcar brasileira (Carvalho *et al.*, 2017; Junqueira *et al.*, 2017; Klein *et al.*, 2017).

Um novo relatório dirigido pelo Projeto de Eletricidade Renovável da cana de açúcar (SUCRE) avaliou a força extra de fluxo concebível para a região Centro-Sul brasileira e que até agora representa 93% da cana de açúcar completa movimentada no Brasil. Os resultados mostraram que, considerando a utilização da metade da palha efetivamente acessível na lavoura da cana de açúcar, mais 35 Terawatts-hora (TWh) poderiam ser negociados com a matriz brasileira anualmente, com possibilidade de fornecer energia para cerca de 28 milhões de famílias na nação (SUCRE, 2017).

Certamente, a bioeletricidade pode assumir um papel significativo na complementação da energia hidrelétrica e na diminuição da utilização da idade da força de base fóssil, particularmente no Centro-Sul. Na estação seca, quando a hidroeletricidade é escassa, a colheita da cana começa e a energia pode ser gerada a partir do bagaço e da palha para atender a necessidade de energia. Além disso, as plantas de cana de açúcar estão próximas aos habitats do amontoado, inferindo assim diminuição dos infortúnios de transmissão (Khatiwada *et al.*, 2012; Scaramucci *et al.*, 2006). A energia da cogeração de biomassa é da mesma forma mais importante do que as usinas nucleares de base fóssil no que diz respeito à redução das saídas de GEE (Evans *et al.*, 2010).

A capacidade desta fonte é óbvia e um trabalho considerável tem sido feito na utilização da biomassa da cana de açúcar para a geração de energia. No Brasil, as considerações identificadas com a cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar são contabilizadas desde a última parte da década de 1970 (Moreira *et al.*, 1977), quando as usinas de cana de açúcar estavam atualizando sua inovação de cogeração para produzir energia de transbordamento para a rede. Mais recentemente,

diferentes exames no país revelaram os benefícios potenciais desse tipo de biomassa, zerando no alívio dos impactos das mudanças ambientais (Dias *et al.*, 2012; Moreira *et al.*, 2016; Seabra e Macedo, 2011; Silva *et al.*, 2014).

Livremente, outras avaliações em andamento atenderam aos benefícios potenciais da utilização do excedente de bioeletricidade do bagaço da cana de açúcar como uma fonte extra para a rede nacional na Índia (Hiloidhari *et al.*, 2018), Austrália (Renouf *et al.*, 2013), Tailândia (Suramaythangkoor e Li, 2012), África do Sul (Mashoko *et al.*, 2013; Petersen *et al.*, 2018), Maurício (Brizmohun *et al.*, 2015; Khoodaruth e Elahee, 2013), Jamaica (Contreras-Lisperguer *et al.*, 2018), Belize (Gongora e Villafranco, 2018), entre outras nações tropicais.

Apesar do fato de haver um imenso potencial para realizar amplamente o uso da biomassa da cana de açúcar como uma fonte significativa de energia no Brasil, ainda existem inúmeras dificuldades especializadas, monetárias e administrativas a serem superadas pelo negócio da cana de açúcar antes de transmitir tal potencial para a treliça. Uma das inúmeras dificuldades identifica-se com o cenário da indústria canavieira brasileira, que tem enfrentado uma circunstância financeira básica com o incremento da obrigatoriedade e desligamento de usinas em todo o país desde a última emergência financeira mundial (Canal Energia, 2018; Mendonça *et al.*, 2012). Pensando na configuração do negócio da cana de açúcar, projetos de campo verde de grande escopo (ou seja, novas tarefas comprometidas com açúcar, etanol e geração de energia) no Brasil ainda são identificados como um perigo elevado do ponto de vista do visionário do negócio.

Nesta circunstância específica, avaliar a praticidade técnico-financeira de novas tarefas na área de negócios da cana de açúcar torna-se particularmente imprescindível para auxiliar uma interação dinâmica exata, unindo a área local de exploração, a área privada e a estratégia e lideranças. Além disso, avaliações tecno-monetárias anormalmente zeradas sobre a capacidade da palha da cana de açúcar para a geração de bioeletricidade no Brasil são escassas no país. As distribuições primárias que avaliaram essas opções foram barradas recentemente por Cardoso *et al.* (2015) e Cardoso *et al.* (2018) cujas revisões se concentraram nos impactos da recuperação da palha considerando as plantas modernas de campo verde. Recentemente, um exame foi barrado para realizar uma investigação constante das inovações na recuperação da palha em plantas brownfield (Sampaio *et al.*, 2019); em qualquer caso, a investigação tecno-monetária foi específica para a estrutura do bundle.

Portanto, este trabalho contempla o empreendimento retrofit, ou seja, um empreendimento estável com menor uso de capital nas fábricas existentes, para levantar a possibilidade monetária de recuperação da palha utilizando o arcabouço vital, cujas sutilezas sobre a inovação serão adicionalmente minuciosas. Os modelos e reproduções que suportam a avaliação das estruturas agrárias e mecânicas foram trabalhados pela Virtual Sugarcane Biorefinery (Bonomi *et al.*, 2016). Esse sistema foi criado e atualizado ao longo da última década pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis

(LNBR), órgão de exames que integra o Centro Nacional de Pesquisas em Energia e Materiais (CNPEM).

Um número impressionante de artigos dependentes das informações subjacentes do VSB foi distribuído na área científica local ao longo de longo prazo. A grande maioria das distribuições é identificada com a avaliação de bio-refinarias de primeira e segunda idades (Cavalett *et al.*, 2017; Junqueira *et al.*, 2017; Watanabe *et al.*, 2016a, b), criação de n-butanol (Mariano *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2015), utilização de vinhaça para processamento anaeróbio (Moraes *et al.*, 2015, 2014), assim como diferentes avaliações identificadas com estratégias variadas, inovações nas biorrefinarias e bioprodutos (Klein *et al.*, 2018, 2017; Rivera *et al.*, 2017).

A cana de açúcar, além de ser parte da história brasileira, também é uma excelente fonte de energia, sendo limpa e renovável. Por todos estes atributos, é possível perceber porque a cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais importantes para a economia brasileira. Desde o início da história brasileira a cana tem sido utilizada das mais diversas formas, ao natural, como insumo para a obtenção de açúcar, para a produção de melado e, mais atualmente, para se obter o combustível álcool, para qual se aproveita todo o produto, até o bagaço, de maneira que se obtenha o máximo possível de energia. (Neves *et al.*, 2003; Silva, 2007).

Assim, pela grande utilidade da cana de açúcar, há um grande aumento nas lavouras desta cultura, o que proporcionou um grande e rápido crescimento de diversos setores da cadeia produtiva brasileira, com óbvio e notório destaque para insumos, máquinas e equipamentos, sem mencionar a geração de empregos através do uso de mão de obra, seja direta ou indiretamente. (Segovia, 2004).

Levando-se em conta as vastas áreas que estão ocupadas pelo plantio da cana de açúcar e o enorme progresso previsto para um futuro próximo, se nota uma óbvia progressão no processo de mecanização das lavouras, em especial a da cana de açúcar, em um processo semelhante ao ocorrido com a soja.

Este processo de mecanizar as lavouras e colheitas encontra respaldo em razão da falta de mão de obra, ocasionada pelo êxodo rural, o que aumenta os custos da mão de obra, o aumento dos valores de produção e também para que seja possível seguir a lei, que proíbe queimar os canaviais antes que se efetue a colheita. A colheita mecânica teve sua origem em meados de 1940, tendo em vista a falta de trabalhadores. De início, os equipamentos colhiam as canas completamente, deixando-as em grupos que pesavam entre 750 kg e uma tonelada. Conforme a tecnologia evoluía, em meados de 1970, surgiu a primeira colheitadeira, modelo CH200, que colhia cana picada, agilizando o processo de transportar a colheita, efetuando ambas as tarefas. Esse tipo de colheita veio para transformar os conceitos de colheita da cana de açúcar, como eram conhecidos anteriormente, tendo em conta que passaram a ser utilizados diversos equipamentos fabricados no Brasil, mas que tinham a tecnologia importada. (Ripoli; Villanova, 1992).

Desta forma, se percebe que a colheita mecânica já é utilizada pelas principais empresas do setor, tendo em conta que ela permite cortar, separar e carregar a cana, tudo em um único processo, tornando-o mais rápido e, assim sendo, agilizando o transporte das matérias primas para as indústrias sem perda da qualidade do produto cultivado. (Magalhães; Braunbeck, 1998).

O setor produtor de cana de açúcar pretende, em um futuro próximo, deixar a colheita da cultura de cana completamente mecânica. Assim, no sudeste brasileiro, 40% da plantação é colhida desta forma, mesmo que ocorram diferenças deste percentual entre as empresas produtoras. As empresas que têm uma porcentagem menor que o citado supra são as que estão sediadas em um terreno mais acidentado, que não permite ou dificulta o uso destes equipamentos. No entanto, as novas empresas já estão instalando suas plantações em locais que permitam a mecanização.

Ao longo deste período de grande mecanização da indústria agrícola, é preciso que se faça uma análise no que concerne às todos os parâmetros que regem o uso destes equipamentos, desde às variedades da cana que serão usadas para o plantio até o investimento nestes equipamentos e na necessária contratação de mão de obra.

No que concerne às variedades disponíveis para o plantio, existem programas para o melhoramento genético da cana de açúcar brasileira e os produtores estão, cada vez mais, objetivando aumentar a qualidade e produtividade do produto, bem como a possibilidade de mecanizar estes processos, tanto de plantio quanto de colheita. Estes sistemas também podem ser observados através de iniciativas estatais, tais como o programa cana – IAC, e na iniciativa privada, quer seja, o CTC, o centro de tecnologia canavieira. Ambos os programas têm foco em permitir que as novas culturas sejam mecanizadas.

Logo, o presente artigo busca mostrar os principais conceitos da chamada agricultura 4.0 e aqueles que dizem respeito aos processos de mecanização da cana de açúcar, especificamente no que concerne às variedades disponíveis para mecanização, as máquinas e mão de obra específica, de forma que se possa demonstrar os benefícios deste avanço da tecnologia e as melhorias auferidas para o produto e respectivos derivados deste processo.

2 DESAFIOS DO SETOR AGRÍCOLA

É sabido que a população está crescendo: nas próximas décadas, espera-se que a população cresça em 33%, chegando a quase 10 bilhões em 2050, em comparação com os 7,6 bilhões registrados em outubro de 2017. Em 2100, estima-se que a população global alcance 11,2 bilhões. No entanto, esse número pode subestimar as taxas reais de fertilidade - em outros cenários, a população poderia atingir 16,5 bilhões. O crescimento da população aumentará a demanda por alimentos, mesmo em um cenário de crescimento econômico modesto, em 50% em comparação com a produção agrícola de 2013.

Enquanto isso, a dieta global também está mudando, como resultado de dados demográficos variáveis: há uma demanda crescente por proteína animal de alto valor, uma tendência que, além do crescimento natural da população, está sendo impulsionada pela urbanização e aumento da renda.

Também é sabido que a urbanização está aumentando, e em meados de 2050 poderá haver uma adição líquida de 2,4 bilhões de pessoas para as cidades. A urbanização estimula melhorias na infraestrutura, como cadeias que permitem o comércio de mercadorias perecíveis. Também tende a aumentar a renda, aumentando a demanda por alimentos processados, bem como alimentos de origem animal, como parte de uma transição alimentar mais ampla. Projeta-se que o consumo de carne per capita anual atinja 45,3 kg por pessoa em 2030, contra 36,4 kg entre 1997 e 1999.

Mas há uma desvantagem em dietas mais ricas, especialmente aquelas de consumo excessivo de carne. Nos países desenvolvidos, a falta de alimentos frescos, dependência de fast food (muitos deles à base de carne) e alimentos processados levaram a uma crise na obesidade infantil e a números alarmantes de pessoas que sofrem de doenças crônicas como diabetes, pressão alta e problemas cardíacos. De fato, as doenças crônicas representam quase metade da carga mundial de doenças, criando uma carga dupla quando associada a doenças infecciosas, que ainda são a principal causa de doença nos países em desenvolvimento.

Falando de forma simplificada, é óbvio que mais pessoas significam maior demanda, e essa demanda, por sua vez, implica maior produção. Agricultores terão que produzir 70% mais alimentos até 2050, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). E esse alimento precisará ser personalizado para as necessidades de uma crescente população urbana, um fator que abrange toda a cadeia de valor da agricultura.

Embora os investimentos e inovações agrícolas estejam aumentando a produtividade, o crescimento do rendimento diminuiu para taxas muito baixas. Surge, assim, a pergunta: quem cultivará? Mesmo que as necessidades alimentares e a demanda estejam aumentando, a população rural está encolhendo. Além disso, as populações rurais estão envelhecendo rapidamente, o que tem implicações importantes para a força de trabalho, padrões de produção, posse da terra, organização social nas comunidades rurais e desenvolvimento econômico em geral.

Ademais, as terras agrícolas do mundo estão se tornando cada vez mais inadequadas para a produção: com base em certas métricas, 25% de todas as terras agrícolas já estão classificadas como altamente degradadas, enquanto outros 44% são moderadamente ou ligeiramente degradadas. Os recursos hídricos estão altamente comprometidos, com mais de 40% da população mundial rural vivendo em áreas com escassez de água.

A terra tem sido reconhecida há muito tempo como um recurso finito, mas às vezes terras agrícolas degradadas eram simplesmente substituídas por outras, trazendo novas terras não utilizadas para o cultivo. Tais terras são raras hoje em dia, e o que resta muitas vezes não pode ser cultivado de

forma sustentável. A falta de terras resultou em fazendas menores, menor produção por pessoa e maior escassez de terra - tudo isso contribuindo para a pobreza rural.

A agricultura é uma causa primária - e indireta - da degradação das terras agrícolas, com diferentes aspectos agrícolas que contribuem para esse processo por meio de uma variedade de maneiras. Nesse contexto, o processo de erosão do solo é causado pelo corte excessivo da vegetação (limpeza de terras agrícolas), juntamente com períodos de repouso inadequadamente orquestrados, rotação de culturas e pastoreio excessivo de gado.

Aproximadamente 80% do desmatamento global é impulsionado por preocupações agrícolas. E embora a remoção de vegetação para dar lugar a terras agrícolas seja necessária para evitar a degradação do solo, ela também indiretamente contribui para a erosão da água. Este último ponto é digno de nota: embora os sistemas de irrigação maximizem a eficiência do uso, as populações em crescimento tornam a segurança e a escassez de água uma preocupação real. O investimento considerado necessário até 2050 é de US\$ 1 trilhão apenas para o gerenciamento da água de irrigação em países em desenvolvimento.

Todas essas questões são resultado de uma má previsão e planejamento. A escassez de terra e a pobreza de rendimento, juntamente com práticas insustentáveis de gestão da terra, são causas diretas da degradação mencionada anteriormente. É dessa forma que os agricultores são levados a derrubar florestas, cultivar encostas íngremes sem conservação, pastorear em excesso e fazer aplicações desbalanceadas de fertilizantes. Um projeto estima que será necessário um investimento de US\$160 bilhões para a conservação do solo e controle de erosão.

Outra preocupação do setor agrícola são as mudanças climáticas. A mudança climática é um fato - e está alterando rapidamente o meio ambiente. O grau de emissões sintéticas de gases de efeito estufa (GEE) atingiu a maior taxa da história, de acordo com um relatório de 2014 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

A agricultura é um dos principais produtores de GEE: nos últimos 50 anos, as emissões de gases de efeito estufa resultantes da agricultura, silvicultura e outros usos da terra quase dobraram. A agricultura contribui com a maior parte das emissões globais de metano e óxido nitroso. E as projeções sugerem um aumento adicional até 2050.

Um efeito colateral da mudança climática é um aumento na variabilidade da precipitação e na frequência de secas e inundações, que tendem a reduzir o rendimento das culturas. Apesar de as temperaturas mais altas poderem melhorar o crescimento das culturas, estudos documentaram que a produção agrícola de uma safra diminui significativamente quando as temperaturas diurnas excedem um determinado nível específico (FAO, 2016e).

As mudanças climáticas afetarão todos os aspectos da produção de alimentos e insumos agrícolas: o aumento da variabilidade da precipitação e mais secas e inundações provavelmente

reduzirão os rendimentos. A mudança climática contribuirá para os atuais problemas ambientais de longo prazo, como a depleção e degradação das águas subterrâneas, o que afetará os alimentos e sistemas de produção agrícola. Sem esforços para se adaptar às mudanças climáticas, a insegurança agrícola aumentará substancialmente. Haverá um impacto da mudança na segurança alimentar global não apenas no suprimento de alimentos, mas também na qualidade dos alimentos, seu acesso e utilização.

3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável chegou à vanguarda do debate científico e da agenda política. A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Comissão de Brundtland (1987), propôs a definição mais ampla para o desenvolvimento sustentável e, desde então, legitimamente ganhou seu lugar na visão, missão e estratégia de organizações, locais e governos. A agricultura sustentável é amplamente discutida e é vista no fórum internacional como essencial para a transição para o desenvolvimento sustentável global

A sustentabilidade na agricultura está relacionada à capacidade de um agroecossistema de manter previsivelmente a produção ao longo do tempo. Um conceito-chave de sustentabilidade, portanto, é a estabilidade sob um determinado conjunto de circunstâncias ambientais e econômicas que só podem ser gerenciadas em uma base específica do local.

Se a perspectiva da sustentabilidade é um viés contra o uso da tecnologia biológica e química e adota um ecossistema totalmente natural, a agricultura, como prática, já está excluída. Se, por outro lado, a perspectiva de sustentabilidade é de preservação de recursos não renováveis no escopo do empreendimento agrícola, o objetivo não é apenas alcançável, mas também boas práticas de negócios e boa gestão ambiental.

Um fenômeno igualmente antinatural e paralelo tem sido o crescimento exponencial da população humana, com demandas associadas por comida e abrigo, que muitas vezes excedem a capacidade de carga natural da terra.

Com base na premissa de que o crescimento da população humana não será restringido como resultado da escassez de alimentos devido à superação dos valores sociais, a tecnologia desempenha um papel fundamental na agricultura sustentável, incluindo:

- (i) aumento da produtividade agrícola;
- (ii) práticas agrícolas sustentáveis;
- (iii) a base para a agricultura sustentável.

A sustentabilidade inclui o objetivo da produção de alimentos, o bem-estar dos produtores de alimentos e a preservação de recursos não renováveis. Para esse fim, a tecnologia de todos os tipos tem sido e será o componente artificial que permitirá vincular esses objetivos.

De fato, a história confirma que a tecnologia tem sido essencial para a produtividade e estabilidade agrícola; os avanços atuais em tecnologia confirmam que a descoberta e o desenvolvimento de novas tecnologias é um empreendimento sustentável, e o senso comum nos leva à conclusão de que a tecnologia permitirá uma agricultura sustentável.

As inovações da tecnologia agrícola são a pedra angular para satisfazer a nova demanda por alimentos, produtos padronizados e úteis. Não apenas os produtos, mas o processo de produção deve atender a critérios e padrões de qualidade reconhecidos. A tecnologia na agricultura também é a solução para minimizar os impactos negativos e se adaptar melhor às mudanças climáticas.

4 TECNOLOGIA NA AGRICULTURA

A eficiência e a produtividade aumentarão nos próximos anos à medida que a "agricultura de precisão" se torna mais difundida e as fazendas se tornam mais conectadas. Estima-se que até 2020, mais de 75 milhões de dispositivos IoT agrícolas estarão em uso: a fazenda média gerará 4,1 milhões de dados diariamente em 2050, ante 190.000 em 2014.

No entanto, enquanto o número crescente de dispositivos conectados representa uma grande oportunidade para os produtores, também adiciona complexidade. A solução está em fazer uso de tecnologias cognitivas que ajudam a entender, aprender, raciocinar, interagir e aumentar a eficiência. Algumas tecnologias são mais avançadas do que outras, mas as inovações têm grandes promessas. Aqui estão algumas das principais inovações tecnológicas previstas para um futuro próximo:

Internet das Coisas (IoT): A transformação digital está modificando o mundo agrícola. Tecnologias de IoT permitem visualizar as correlações de dados estruturados e não estruturados para fornecer informações sobre a produção de alimentos. Plataformas IoT, como o Watson da IBM, estão aplicando aprendizado de máquina para dados de sensores ou drones, transformando sistemas de gerenciamento em verdadeiros sistemas de IA.

Automação de habilidades e força de trabalho: Até 2050, a ONU projeta que dois terços da população mundial viverão em áreas urbanas, reduzindo a força de trabalho rural. Novas tecnologias serão necessárias para facilitar a carga de trabalho dos agricultores: as operações serão realizadas remotamente, os processos serão automatizados, os riscos serão identificados e os problemas serão resolvidos. No futuro, as habilidades dos agricultores serão cada vez mais uma mistura de tecnologia e habilidades de biologia, em vez de puramente agrícolas.

Agricultura orientada a dados: Analisando e correlacionando informações sobre clima, tipos de sementes, qualidade do solo, probabilidade de doenças, dados históricos, tendências do mercado e preços, os agricultores tomarão decisões mais informadas.

5 AGRICULTURA 4.0

A abordagem tradicional da indústria de alimentos está passando por uma transformação fundamental. A primeira revolução tecnológica na agricultura trouxe avanços impressionantes: entre 1961 e 2004, a produção de cereais no leste da Ásia cresceu 2,8% ao ano, ou mais de 300% durante o período, possibilitado pelas modernas práticas agrícolas, incluindo irrigação, uso de fertilizantes e pesticidas, e o desenvolvimento de novas e mais produtivas variedades de culturas (Banco Mundial, 2008). No entanto, os ganhos de eficiência estão diminuindo: a taxa de rendimento está diminuindo. E os desafios são maiores: o mundo precisa produzir 70% mais alimentos até 2050, usando menos energia, fertilizantes e pesticidas, enquanto reduz os níveis de GEE e lida com as mudanças climáticas.

As tecnologias antigas devem ser maximizadas e as novas criadas, aprimoradas e utilizadas. Chama-se isso de Agricultura 4.0, a próxima revolução agrícola, que deve ser verde, com ciência e tecnologia em seu cerne. A agricultura 4.0 precisará considerar tanto o lado da demanda e da cadeia de valor quanto o lado da oferta, com a equação da escassez de alimentos, usando a tecnologia não apenas por uma questão de inovação, mas para melhorar e abordar as reais necessidades dos consumidores, realizando uma reengenharia da cadeia de valor.

Fazendas modernas e operações agrícolas funcionarão de maneira diferente, principalmente devido aos avanços na tecnologia, incluindo sensores, dispositivos, máquinas e tecnologia da informação. A agricultura do futuro usará tecnologias sofisticadas, como robôs, sensores de temperatura e umidade, imagens aéreas e tecnologia GPS, apenas para listar algumas das possibilidades.

Esses avanços permitirão que as empresas sejam mais rentáveis, eficientes, mais seguras e ambientalmente amigáveis. A agricultura 4.0 não precisará mais depender da aplicação excessiva de água, fertilizantes e pesticidas em todos os campos. Em vez disso, os agricultores usarão quantidades mínimas, ou até mesmo as removerão completamente. Eles serão capazes de cultivar em áreas áridas e utilizar recursos abundantes e limpos, como o sol e a água do mar, para cultivar alimentos.

A boa notícia é que essas tecnologias digitais estão tomando conta do setor, melhorando toda a cadeia de valor dos alimentos. As *startups* de Tecnologia Agrícola, de acordo com a Agfunder, cresceram mais de 80% ao ano desde 2012. As *startups* da Agritech estão em ascensão, com empresários e investidores mostrando um apetite voraz pelo setor.

De acordo com o conceito de Máquinas Agrícolas Europeias (2017), a agricultura também desenvolveu cinco estágios no processo de desenvolvimento:

- (i) a Agricultura 1.0 apareceu no início do século XX, um sistema agrícola de mão-de-obra intensiva e baixa produtividade;
- (ii) Agricultura 2.0 amplamente lembrada como a Revolução Verde, começou no final da década de 1950, quando práticas de gerenciamento agrônomo como nitrogênio

suplementar e novas ferramentas como pesticidas sintéticos, fertilizantes e máquinas especializadas mais eficientes permitiram tirar vantagem de insumos relativamente baratos, aumentando drasticamente o potencial de produção e retornos crescentes de escala em todos os níveis;

- (iii) Agricultura 3.0, seu foco passa da pura eficiência em termos de redução de custos para a lucratividade, que pode ser vista como objetiva e criativa, buscando maneiras de reduzir custos e melhorar a qualidade ou desenvolver produtos diferenciados;
- (iv) A evolução da agricultura 4.0 ocorre paralelamente a evoluções semelhantes no mundo industrial, onde é marcada como indústria 4.0. Por conseguinte, o termo agricultura 4.0 é frequentemente usado na agricultura. Em termos de definições, a agricultura 4.0, em analogia à indústria 4.0, representa a rede interna e externa integrada das operações agrícolas. Isso significa que existem informações em formato digital para todos os setores e processos agrícolas; a comunicação com parceiros externos, como fornecedores e clientes finais, também é realizada eletronicamente; e a transmissão, processamento e análise de dados são automatizados.

A Agricultura 4.0 prepara o caminho para a próxima evolução, incluindo a operação atual sem dispositivos humanos e baseados em sistemas diretos que podem tomar decisões automáticas.

Para final desse tópico, se traz os estudos de Tien *et al.*:

A Agricultura 4.0 implica conotações de ambas as culturas, animais (possivelmente um entendimento mais amplo da pesca e da silvicultura) para pesquisa, transferência e produção. Agricultura moderna interessada em soluções de sustentabilidade e segurança. A agricultura está implementando técnicas como lavoura, semeadura, poda, rotação de culturas, cultivo, colheita, com o objetivo de obter maior produtividade, proteger melhor o meio ambiente e com base no progresso da tecnologia digital.

6 VARIEDADES DA CANA DE AÇÚCAR

É sabido que o preço do petróleo aumenta e tem reflexos imediatos no preço da gasolina. Além disso, o Brasil já desenvolveu tecnologia para a criação de motores flex, que possibilita a escolha entre álcool e gasolina para a utilização no veículo, o que resulta em um aumento na demanda por álcool

A maior demanda por álcool também implica uma produção maior de combustível, o que, conseqüentemente, requer mais produção da matéria-prima do combustível, ou seja, a cana de açúcar. Nesse contexto, os programas para a melhoria da matéria-prima agrícola desempenham um papel importante na criação de novas e mais produtivas variedades.

Todo ano, novas variedades surgem no mercado, todas prometendo mais rendimento, maior produção e maior capacidade de adaptação ao processo mecânico. Atualmente, as responsáveis pelas novas variedades brasileiras são o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), o IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e o RB (Ridesa).



Os produtores têm à sua disposição mais de 50 cultivares, se somarmos tudo o que é produzido pelas três empresas mencionadas acima, e assim podem escolher a variedade que melhor se adapta ao clima e ao solo que possuem.

Conforme Togo e Casagrande:

A escolha das variedades de cana de açúcar a serem cultivadas é de suma importância para o produtor, portanto ele deve estar ciente de um conjunto de características que serão fundamentais para a produtividade de seus canaviais, como: maior produção por unidade de área, melhor adaptação à região de cultivo, melhores características agroindustriais, resistência a doenças e pragas e, obviamente, aptidão para a colheita mecanizada.

Ademais, de acordo com os estudos de Landell *et al.* (2006), certas peculiaridades das variedades disponíveis precisam ser analisadas com minúcia, de forma que se possa avaliar qual delas possui melhor desempenho de acordo com o terreno em que será cultivada, o clima local, sua fertilidade, retenção de cátions e água, entre outros fatores.

Essas características do terreno de cultivo são primordiais para a escolha da variedade a ser cultivada pela empresa e também determinarão o momento correto para a colheita, visando extrair o potencial máximo da produção. Além disso, é importante ressaltar que a diversificação das variedades cultivadas é de suma importância para evitar doenças e/ou pragas.

As antigas epidemias de doenças como o carvão e o mosaico servem como alerta para que as empresas percebam o risco que correm ao manter sua matéria-prima em apenas algumas variedades.

Neste ponto, aduzem Togo e Casagrande:

“Em relação a isso se sugere que uma variedade, por melhor que seja, jamais ocupe mais do que 20% dos canaviais de uma empresa. Neste contexto, a grande oferta de variedades atualmente no mercado serve para minimizar os riscos de epidemias, uma vez que a base genética das plantas é mais diversificada. Para se ter uma ideia da situação, em 1984, a introdução de uma nova doença à qual a variedade NA56-79 (principal variedade na época) fosse suscetível teria o potencial de destruir 42% da lavoura nacional. Já em 2003, a introdução de uma nova doença que afetasse a principal variedade poderia prejudicar apenas 15% dos canaviais”.

No que concerne à aptidão para a colheita mecanizada, o cultivo de cana de açúcar deve possuir certas características específicas, como tamanho, retidão e resistência ao corte, de modo que não se perturbe a planta e seu despalhamento natural. Essas características são de suma importância para facilitar a operação e precisam ser consideradas ao planejar a variedade a ser escolhida pelas empresas.

Outros fatores que devem ser levados em conta são o período de amadurecimento e o período útil para a industrialização, que também são importantes para garantir uma maturidade padrão em toda a colheita (Pereira; Torrezan, 2006).

7 AS MÁQUINAS

De acordo com Neves *et al.*, 2003, o uso de colheitadeiras mecânicas é mais comum nos diferentes sistemas para a produção agroindustrial. No que concerne à cultura da cana de açúcar, 30% do plantio é colhido por máquinas (Pearce, 2006).

Ademais, conforme Ripolli e Ripoli (2004), estão disponíveis no mercado dois tipos de máquina, quer sejam, as que colhem a cana inteira e as que colhem a cana em pedaços. Em geral, acaba-se optando pelo último tipo, tendo em conta este ser mais eficaz para cortar, carregar e transportar a cana.

Conforme Magalhães e Braunbeck (1998), cresce cada vez mais o interesse por colher a cana de açúcar através de equipamentos de colheita de cana picada, especialmente nos lugares que o terreno permite isso e onde há pouca mão de obra. Afinal, estes equipamentos cortam, fracionam, limpam e transportam a cana em um único processo.

No entanto, para que tudo isso aconteça de maneira exitosa, é necessário que se observe algumas peculiaridades que vão tornar a colheita mais produtiva. Pereira e Torrezan (2006), informam os seguintes requisitos:

- 1) Analisar qual a máquina que vai ser usada na colheita, de forma que se possa verificar qual o espaço que será necessário na lavoura, para que seja ideal para que passe uma esteira ou pneu da máquina, sem que estrague as plantas e permitindo que a planta brote em um terreno mais socado.
- 2) Verificar por completo os tipos de irregularidade do terreno, tais como barrancos, buracos, sulcos, etc, bem como auferir o nível de compactação do terreno e a profundidade deste.
- 3) Nivelar completamente o terreno, de maneira que se facilite o corte da cana sem que as lâminas do equipamento tenham contato com o solo, para que se minimize as impurezas, tanto minerais quanto vegetais que possam vir a ter contato com a cana, para que também se reduzam as perdas da indústria como um todo.
- 4) Selecionar os tipos de variedade que sejam mais propícios ao sistema mecanizado, quer seja, que possuem peculiaridades tais como um porte reto, resistência ao corte e a despalha natural, para que se permita facilitar as tarefas de limpeza e se reduza a quantidade de resíduos não almejados.
- 5) Analisar o declive do terreno de forma a se escolher o melhor equipamento, sabendo-se que para o tipo esteira o declive deve ser de, no máximo, de 14% e para as que possuem pneu, deve ser de, no máximo, 18%, de forma que se evite acidentes.
- 6) Desenhar os talhões e carregadores das plantações conforme o declive do terreno, de forma a se aumentar a produtividade, em especial se utilizando transbordos para que evite perda de tempo com muitas manobras desnecessárias.

A colheita mecânica permite estabelecer um padrão para processar a cana de açúcar, o que por si só cria uma sensação de segurança no processo de produção. Isso, conseqüentemente, melhora significativamente o controle das atividades de corte, permitindo que se adaptem ao acelerado ritmo industrial. Além disso, reduz os problemas ambientais advindos da queima dos canaviais, antes tão comum, o que resulta na redução da instabilidade da mão de obra e no aumento substancial da área a ser colhida (Ustulin; Severo, 2008).

De acordo com os estudos de Rodrigues e Saab (2007), o processo de mecanização da agricultura, especificamente o da cana de açúcar, é um avanço do qual não se pode escapar. Todas as mudanças no que diz respeito ao corte não se tratam apenas de substituições de um processo pelo outro. Na verdade, trata-se de um conjunto que envolve o processo de preparação do solo na plantação, com o uso de novos maquinários na agricultura, e isso deve envolver toda a mão de obra, desde aqueles que lidam com o corte até os funcionários que recebem a cana como matéria-prima nas fábricas.

Ademais, é válido salientar que o uso de equipamentos por parte dos empresários do setor agrícola é um hábito fundamental para que este setor se modernize (Veiga Filho, 1994). Partindo desta modernização agrícola que traz consigo os avanços tecnológicos para o nicho da cana de açúcar, nota-se que o trabalhador braçal deixa de existir, dando lugar ao funcionário que opera o equipamento. Isso resulta em uma mão de obra mais qualificada e melhor treinada para um mercado mais moderno e exigente.

8 O OPERADOR

De acordo com Silva (2007), a mecanização da produção da cana de açúcar requer do operador do equipamento um novo comportamento em relação às suas funções. O uso desses novos tipos de equipamentos exige que o funcionário se adapte, se atualize e adquira conhecimento para operar essas máquinas. No entanto, em contrapartida, isso permite uma maior segurança nos processos de trabalho.

Nesse contexto, para que o funcionário execute suas funções de forma bem-sucedida, é necessário analisar alguns parâmetros que são primordiais para que o serviço seja desenvolvido da melhor forma. Os mesmos incluem:

- 1) Ter conhecimento técnico a respeito das funcionalidades do equipamento, para que o funcionário consiga lidar com qualquer problema que possa ocorrer e saiba diferenciar todas as funções disponíveis na máquina. Como exemplo pode-se citar como a regulação dos assentos, os sistemas de controle climáticos e de comunicação. (SKOGFORSK, 1999);
- 2) Ter conhecimento técnico da posição do corte e dos ponteiros, tendo em conta que quem decide a operação para que o corte seja realizado é o funcionário e é o processo de corte que consegue fazer cair as impurezas que vem em conjunto com o produto. Da mesma

maneira, o funcionário também precisa saber como realizar o corte da base do produto, que não deve passar da altura de 100 mm, para que não ocorram problemas nas socas.

- 3) Responsabilidade e disciplina também são características importantes para que os funcionários consigam operar de maneira exitosa, especialmente se levar em conta que serão diversos profissionais que vão operar o equipamento, especificamente no período de colheita, o que também influencia no cálculo do período trabalhado.

Assim, de acordo com Pereira e Torrezan (2006), o sucesso da colheita de cana de açúcar realizada de forma mecânica depende, em última instância, da qualidade do serviço prestado pelo funcionário. Portanto, este deve ser bem preparado e receber treinamento de maneira a proporcionar maiores ganhos para a empresa, uma vez que um profissional bem treinado causará menos prejuízos à mesma. Dessa forma, compreende-se que os sistemas de treinamento e qualificação profissional têm importância vital para reduzir os custos industriais, permitindo que a colheita seja realizada com mais qualidade.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do presente trabalho, percebeu-se que a adoção da Agricultura 4.0 e, conseqüentemente, a mecanização da colheita da cana de açúcar não são apenas necessidades urgentes, mas também devem ser implementadas de maneira cuidadosa para trazer mais benefícios às empresas. Como exposto, se os critérios de planejamento para a seleção de variedades, adaptação do terreno, contratação e preparo de mão de obra, entre outros parâmetros, não forem seguidos corretamente, podem resultar em prejuízos para a empresa. Ao contrário, se forem seguidos, podem trazer benefícios e até mesmo aumentar a produtividade, e, conseqüentemente, o lucro.

Assim, percebe-se que uma boa seleção das variedades que comporão a produção da empresa, a escolha adequada do equipamento, que proporcionará uma colheita mais ágil e precisa, e o frequente preparo e treinamento dos funcionários que operarão os maquinários são de suma importância para que a colheita mecânica da cana de açúcar seja equilibrada.

A bioeletricidade proveniente da palha da cana de açúcar pode ser economicamente viável em qualquer cenário, considerando as inúmeras dificuldades para se alcançar uma rede elétrica mais limpa no país. Na investigação realizada para as melhores situações estáveis (atividade durante a entressafra), os retornos internos foram de 35 a 69%, 44 a 83% e 54 a 99% ao ano, considerando plantas com limites únicos de batimento de 2, 4 e 8 milhões de toneladas de cana de açúcar por ano. Devido às situações de trabalho durante a safra de colheita da cana de açúcar, as taxas de retorno internas foram identificadas com alcance de 6 a 19%, 8 a 22% e 10 a 25% ao ano, respectivamente.

Esses resultados demonstram a viabilidade prática de estender essa inovação para contribuir com os avanços em direção a uma produção mais limpa, sempre favorecendo os benefícios das plantas

existentes. Certamente, a transição da palha da cana de açúcar para bioeletricidade ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, especialmente ao substituir fontes como gasolina fóssil, que são regularmente utilizadas durante a safra da cana de açúcar na região centro-sul do Brasil.

Conforme apresentado neste artigo, esse caminho para uma melhoria prática dependerá firmemente de elementos como gestão agrícola, equipamento existente em cada planta (limite inativo do hardware), escala de operação, período operacional, distância do veículo com palha e custo de energia. O uso da palha durante a entressafra implica em empreendimentos práticos e estáveis, embora as situações que operam apenas durante a época de colheita da cana sejam menos atraentes, principalmente devido ao maior custo de investimento advindo da extensão do equipamento moderno.

É importante ressaltar que algumas fábricas no Brasil possuem capacidade ociosa em caldeiras e turbinas, tornando prática a recuperação extra da palha durante a temporada. A investigação dos efeitos mostrou que, embora a eficiência do Sistema de Controle Distribuído (DCS) seja identificada com um grande escopo de vulnerabilidade que influencia a atividade em fábricas reais, seu efeito sobre os resultados financeiros foi menor do que os impactos observados de diferentes limites avaliados neste estudo. Assim, novamente, o custo de venda de energia é uma variável chave na supervisão de projetos de recuperação de palha no Brasil. Uma investigação mais aprofundada, no entanto, é importante para analisar completamente os efeitos da recuperação da palha sobre a viabilidade das operações graduais no negócio da cana de açúcar. Para uma avaliação mais abrangente em estudos futuros, mais informações devem ser coletadas tanto em experimentos agrícolas quanto mecânicos para determinar os efeitos da remoção da palha sobre a rentabilidade da cana, sobre os custos de suporte moderno e principalmente em caldeiras e, além e avaliar diversos avanços na expulsão da palha, como a estrutura do cacho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPgEQ/UFRN), como também, à CAPES, CNPQ e ao Programa de Recursos Humanos da ANP - PRH 26.1 pelo auxílio financeiro.



REFERÊNCIAS

BIEL, Alvaro & DE CLERCQ, Matthieu & VATS, Anshu. Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology, from <https://www.worldgovernmentsummit.org>.

Bonomi, A., Cavalett, O., Cunha, M., Lima, M.A.P., 2016. Virtual Biorefinery. Cham Springer Int. Publ. Brizmohun, R., Ramjeawon, T., Azapagic, A., 2015. Life cycle assessment of electricity generation in Mauritius. J. Clean. Prod. 106, 565e575.

BRUNDTLAND, G.H. and KHALID, M. (1987), Our common future, New York.

CanalEnergia, 2018. RenovaBio: benefit for bioelectricity in the medium term [RenovaBio: benefício para bioeletricidade no médio prazo] [WWW Document]. <http://www.unica.com.br/download.php?idSecao17&id 16235245>.

Cardoso, T.F., Chagas, M.F., Rivera, E.C., Cavalett, O., Morais, E.R., Geraldo, V.C., Braunbeck, O., Da Cunha, M.P., Cortez, L.A.B., Bonomi, A., 2015. A vertical integration simplified model for straw recovery as feedstock in sugarcane biorefineries. Biomass Bioenergy 81, 216e223.

Cardoso, T.F., Neves, J.M., Chagas, M., 2017. Road Scale Law: an Assessment of Sugarcane and Straw Recovery Production Costs [Lei da Balança: uma avaliação de custos de produção de cana de açúcar e de recolhimento de palha]. [WWW Document]. <https://lnbr.cnpm.br/boletim-ctbe-2-lei-da-balanca/>. Original title in Portuguese.

Cardoso, T.F., Watanabe, M.D.B., Souza, A., Chagas, M.F., Cavalett, O., Morais, E.R., Nogueira, L.A.H., Leal, M.R.L.V., Braunbeck, O.A., Cortez, L.A.B., others, 2018. Economic, environmental, and social impacts of different sugarcane production systems. Biofuels, Bioprod. Biorefining 12, 68e82.

Carvalho, J.L.N., Nogueirol, R.C., Menandro, L.M.S., Bordonal, R.D.O., Borges, C.D., Cantarella, H., Franco, H.C.J., 2017. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. Gcb Bioenergy 9, 1181e1195.

Cavalett, O., Chagas, M.F., Magalhães, P.S.G., Carvalho, J.L.N., Cardoso, T.F., Franco, H.C.J., Braunbeck, O.A., Bonomi, A., 2016. The agricultural production model. In: Virtual Biorefinery. Springer, pp. 13e51.

Cavalett, O., Chagas, M.F., Junqueira, T.L., Watanabe, M.D.B., Bonomi, A., 2017. Environmental impacts of technology learning curve for cellulosic ethanol in Brazil. Ind. Crops Prod. 106, 31e39. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.025>.

CCEE, 2018a. Energy Auctions [Leilões] [WWW Document]. Câmara Comer. Energ. Elétrica. URL. https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes (accessed 12.1.17). Original title in Portuguese.

CCEE, 2018b. Spot market prices [Preço de liquidação das diferenças] [WWW Document]. Câmara Comer. Energ. Elétrica. https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afrLoop 25554720317254&_adf.ctrl-state y4e7o8nw7_209#!%40%40%3F_afrLoop%3D25554720317254%26_adf.ctrl-state%3Dy4e7o8nw7_213 (accessed 12.2.17). Original title in Portuguese.

CEPEA, 2018a. Weekly Ethanol Fuel Indicator CEPEA/ESALQ - São Paulo [Indicador Semanal do Ethanol Combustível CEPEA/ESALQ - São Paulo] [WWW Document].



<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/etanol.aspx>. accessed 12.1.17). Original title in Portuguese.

CEPEA, 2018b. Cristal Sugar Indicator CEPEA/ESALQ - São Paulo [Indicador do Açúcar Cristal CEPEA/ESALQ - São Paulo] [WWW Document]. <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/acucar.aspx> (accessed 12.1.17). Original title in Portuguese.

CONAB, C.N. de A, 2017. Ethanol and sugarcane industry profile in Brazil [Perfil do Setor do Açúcar e do Etanol no Brasil: edição para a safra 2014/15]. CONAB, Brasília. Original title in Portuguese.
Contreras-Lisperguer, R., Batuecas, E., Mayo, C., Diaz, R., Pe´rez, F.J., Springer, C., 2018. Sustainability assessment of electricity cogeneration from sugarcane bagasse in Jamaica. *J. Clean. Prod.* 200, 390e401.

DENATRAN, 2006. Traffic Law Resolution 211/2006 [Resolução 211/2006]. Brazil. Original title in Portuguese).

DENATRAN, 2015. Traffic Law Resolution 526/2016 [Resolução 526/2015]. Brazil. Original title in Portuguese).

Dias, M.O.S., Junqueira, T.L., Cavalett, O., Cunha, M.P., Jesus, C.D.F., Rossell, C.E.V., Maciel Filho, R., Bonomi, A., 2012. Integrated versus stand-alone second-generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. *Bioresour. Technol.* 103, 152e161.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), 2018. National Energy Balance 2018: Base-Year 2017 [Balanço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017] (Rio de Janeiro. Original title in Portuguese).
Evans, A., Strezov, V., Evans, T.J., 2010. Sustainability considerations for electricity generation from biomass. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 1419e1427.

Furlan, C.R., Gago, J.S.N., Delfini, P., 2005. Development and test of a sugar cane dry cleaning system. In: Hassuani, S.J., Leal, M.R.L.V., Macedo, I. (Eds.), *Biomass Power Generation - Sugarcane Bagasse and Trash*. CTC, Piracicaba.

Gongora, A., Villafranco, D., 2018. Sugarcane bagasse cogeneration in Belize: a re- view. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 96, 58e63.

Hassuani, S.J., Leal, M.R.L.V., de Carvalho Macedo, I., 2005. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. CTC.

Hiloidhari, M., Araújo, K., Kumari, S., Baruah, D.C., Ramachandra, T.V., Katak, R., Thakur, I.S., 2018. Bioelectricity from sugarcane bagasse cogeneration in India– An assessment of resource potential, policies and market mobilization oppor- tunities for the case of Uttar Pradesh. *J. Clean. Prod.* 182, 1012e1023.

Junqueira, T.L., Chagas, M.F., Gouveia, V.L.R., Rezende, M.C.A.F., Watanabe, M.D.B., Jesus, C.D.F., Cavalett, O., Milanez, A.Y., Bonomi, A., 2017. Techno-economic analysis and climate change impacts of sugarcane biorefineries considering different time horizons. *Biotechnol. Biofuels* 10, 12. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0722-3>.

Khawwaja, D., Seabra, J., Silveira, S., Walter, A., 2012. Power generation from sug- arcane biomass– A complementary option to hydroelectricity in Nepal and Brazil. *Energy* 48, 241e254.

Khooaruth, A., Elahee, M.K., 2013. Use of higher fibre cane for increasing cogenerated electricity: policy implications for Mauritius. *Util. Policy* 26, 67e75.

Klein, B.C., Chagas, M.F., Junqueira, T.L., Rezende, M.C.A.F., de Fatima Cardoso, T., Cavalett, O., Bonomi, A., 2018. Techno-economic and environmental assessment of renewable jet fuel production in integrated Brazilian sugarcane biorefineries. *Appl. Energy* 209, 290e305.

Klein, B.C., Silva, J.F.L., Junqueira, T.L., Rabelo, S.C., Arruda, P.V., Ienczak, J.L., Mantelatto, P.E., Pradella, J.G.C., Junior, S.V., Bonomi, A., 2017. Process development and techno-economic analysis of bio-based succinic acid derived from pentoses integrated to a sugarcane biorefinery. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 11, 1051e1064.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar, In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. Atualização em produção de cana-de-açúcar, Atualização em produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba: - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006. p.11-18.

LUU, TIEN & LUU TIEN, DUNG & THI, NGUYEN & HIEP, KIM. (2017). The Revolution of Agriculture 4.0 and Sustainable Agriculture Development in Vietnam.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A colheita de cana de açúcar: atualidade e perspectiva. In: CONGRESO DE INGENIERÍA RURAL Y MECANIZACIÓN AGRARIA EN EL ÁMBITO LATINOAMERICANO. Anais... La Plata: Argentina, 1998. p.262-271.

Mariano, A.P., Dias, M.O.S., Junqueira, T.L., Cunha, M.P., Bonomi, A., Maciel Filho, R., 2013. Butanol production in a first-generation Brazilian sugarcane biorefinery: technical aspects and economics of greenfield projects. *Bioresour. Technol.* 135, 316e323.

Mashoko, L., Mbohwa, C., Thomas, V.M., 2013. Life cycle inventory of electricity cogeneration from bagasse in the South African sugar industry. *J. Clean. Prod.* 39, 42e49.

Menandro, L.M.S., Cantarella, H., Franco, H.C.J., Koelln, O.T., Pimenta, M.T.B., Sanches, G.M., Rabelo, S.C., Carvalho, J.L.N., 2017. Comprehensive assessment of sugarcane straw: implications for biomass and bioenergy production. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 11, 488e504.

Mendonça, M.L., Pitta, F.T., Xavier, C.V., 2012. The Sugarcane Industry and the Global Economic Crisis: A Report by the Network for Social Justice and Human Rights. Moraes, B.S., Junqueira, T.L., Pavanello, L.G., Cavalett, O., Mantelatto, P.E., Bonomi, A., Zaiat, M., 2014. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: profit or expense? *Appl. Energy* 113, 825e835.

MILAN, M. Fatores críticos no sistema de produção de cana de açúcar. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.18, n.4, p.100-109, jun. 1999.

Moraes, B.S., Zaiat, M., Bonomi, A., 2015. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: challenges and perspectives. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44, 888e903.

Morais, E.R., Junqueira, T.L., Sampaio, I.L.M., Dias, M.O.S., Rezende, M.C.A.F., de Jesus, C.D.F., Klein, B.C., Gómez, E.O., Mantelatto, P.E., Maciel Filho, R., others, 2016. Biorefinery alternatives. In: *Virtual Biorefinery*. Springer, pp. 53e132.

Moreira, J.R., Goldemberg, J., Serra, G.E., 1977. A Cogeneration Scheme for the Production of Alcohol and Electricity from Sugar Cane.



Moreira, J.R., Romeiro, V., Fuss, S., Kraxner, F., Pacca, S.A., 2016. BECCS potential in Brazil: achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. *Appl. Energy* 179, 55e63.

Neves *et al.* (2003). Avaliação de perdas invisíveis de cana de açúcar nos sistemas da colhedora de cana picada. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.23, n.3, p.539-546, set./dez.

PEREIRA, L. L.; TORREZAN, H. F. Colheita mecanizada da cana de açúcar. In: SEGATO, S. V. PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. Atualização em produção de cana de açúcar. Piracicaba: CP 2 m, 2006. p.333-344.

Pereira, L.G., Chagas, M.F., Dias, M.O.S., Cavalett, O., Bonomi, A., 2015. Life cycle assessment of butanol production in sugarcane biorefineries in Brazil. *J. Clean. Prod.* 96, 557e568.

Petersen, A.M., der Westhuizen, W.A., Mandegari, M.A., Gorgens, J.F., 2018. Economic analysis of bioethanol and electricity production from sugarcane in South Africa. *Biofuels, Bioprod. Biorefining* 12, 224e238.

Renouf, M.A., Pagan, R.J., Wegener, M.K., 2013. Bio-production from Australian sugarcane: an environmental investigation of product diversification in an agro-industry. *J. Clean. Prod.* 39, 87e96.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana de açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: USP/ESALQ, 2004. 302p.

RIPOLI, T. C. C.; VILA NOVA, N. A. Colheita mecanizada de cana de açúcar: novos desafios. *Revista STAB, Piracicaba*, v.11, n.1, p.28-31, set./out. 1992.

Rivera, E.C., Yamakawa, C.K., Saad, M.B.W., Atala, D.I.P., Ambrosio, W.B., Bonomi, A., Junior, J.N., Rossell, C.E.V., 2017. Effect of temperature on sugarcane ethanol fermentation: kinetic modeling and validation under very-high-gravity fermentation conditions. *Biochem. Eng. J.* 119, 42e51.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana de açúcar (*saccharum spp*) na região de Bandeirantes-Pr. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v.28, n.4, p.581-588, out./dez. 2007.

Sampaio, I.L.M., Cardoso, T.F., Souza, N.R.D., Watanabe, M.D.B., Carvalho, D.J., Bonomi, A., Junqueira, T.L., 2019. Electricity production from sugarcane straw recovered through bale system: assessment of retrofit projects. *BioEnergy Res* 1e13.

Scaramucci, J.A., Perin, C., Pulino, P., Bordoni, O.F.J.G., Da Cunha, M.P., Cortez, L.A.B., 2006. Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. *Energy Policy* 34, 986e992.

Schembri, M.G., Hobson, P.A., Paddock, R., others, 2002. The development of a prototype factory-based trash separation plant. In: *Proceedings of the 2002 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists Held at Cairns*, pp. 12e18. Queensland, Australia, 29 April-2 May 2002.

Seabra, J.E.A., Macedo, I.C., 2011. Comparative analysis for power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazil. *Energy Policy* 39, 421e428.

SEGOVIA, N. V. M. Perfil tecnológico dos fornecedores de cana de açúcar e entraves para a adoção de sistemas agroflorestais na região de Piracicaba, SP – Brasil. 2004. 103f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.



SILVA, C. B. da. Perfil antropométrico de operadores e avaliação ergonômica de colhedoras de cana de açúcar. 2007. 91f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras.

Silva, D.A.L., Delai, I., Montes, M.L.D., Ometto, A.R., 2014. Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 32, 532e547.

SKOGFORSK. The forestry research institute of sweden. Ergonomic guidelines for Forest machines. Uppsala, Sweden: Swedish National Institute for Working Life, 1999. 86p.

SUCRE, S.R.E, 2017. Electricity from sugarcane straw can supply 27% of Brazilian household demand [Eletricidade gerada a partir da palha de cana de açúcar pode suprir 27% do consumo residencial no Brasil] [WWW Document]. SUCRE Newsl. Issue 11. <https://pages.cnpem.br/sucre/2017/09/21/eletricidade-gerada-partir-da-palha-de-cana-de-açúcar-pode-suprir-27-do-consumo-residencial-no-brasil/>. accessed 1.12.18). Original title in Portuguese.

Suramaythangkoor, T., Li, Z., 2012. Energy policy tools for agricultural residues utilization for heat and power generation: a case study of sugarcane trash in Thailand. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 4343e4351.

TOIGO, Roberto & CASAGRANDE, Marcos. (2009). COLHEITA MECÂNICA DA cana de açúcar: ALGUNS PARÂMETROS. *Núcleos.* 6. 10.3738/1982.2278.144.

USTULIN, E. J.; SEVERO, J. R. cana de açúcar: proteger o ambiente e continuar gerando empregos. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/site/noticia.php?ag=0&n=1172>>.

VEIGA FILHO, A. A. Análise da mecanização do corte da cana de açúcar no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas, São Paulo*, v.24, n.10, p.44-59, out.1994.

Watanabe, Marcos D.B., Chagas, M.F., Cavalett, O., Guilhoto, J.J.M., Griffin, W.M., Cunha, M.P., Bonomi, A., 2016a. Hybrid input-output life cycle assessment of first- and second-generation ethanol production technologies in Brazil. *J. Ind. Ecol.* 20, 764e774. <https://doi.org/10.1111/jiec.12325>.

Watanabe, Marcos D.B., Pereira, L.G., Chagas, M.F., da Cunha, M.P., Jesus, C.D.F., Souza, A., Rivera, E.C., Maciel Filho, R., Cavalett, O., Bonomi, A., 2016b. Sustainability assessment methodologies. In: *Virtual Biorefinery*. Springer, pp. 155e188.